

對號入座—簡易資源回收分類設備

國中組應用科學科第三名

台北縣立正德國民中學

作者：蘇奕綸、李世忍、鐘興穎、陳俊光
指導教師：邱俊雄、郭怡立

一、研究動機

現政府正大力推行資源回收工作，但因國人嫌麻煩或不習慣作分類回收，以致回收效果不彰。故本研究欲藉由簡單的物理原理，使用者只需投入一個資源回收筒，即可將資源回收物分類回收，以解決資源回收效果不彰之問題。

二、研究目的

本研究藉由簡易之物理原理如槓桿、磁力及重力等原理，將可回收資源物如玻璃瓶、鐵罐、鋁罐及塑膠瓶分選分類以減輕後續人工挑選之工作負擔。

三、研究設備器材

壓克力（40cm×55cm）一片角架八個 單眼照相機一台。
黑色壁報紙一張 白色細膠帶一捆 量角器一個。
瓦楞紙箱數個 電子磅秤一台 鹵素燈及燈架各二個。
塑膠瓶類、鐵罐類、鋁罐類及玻璃瓶類可回收之廢容器各數個。

四、研究方法

（一）收集廢容器及其基本資料分析：

針對市面上販售飲品之包裝容器進行收集調查，並依其材質分類為玻璃瓶類、鐵罐類、鋁罐類及塑膠瓶類等四類，秤量其重量並紀錄分析之。

（二）欲分類之可回收廢容器之特性分析：

本研究欲分類之可回收廢容器分為四類，依其特性如下：

1. 玻璃瓶類重量較重，其次為鐵罐，鋁罐及塑膠瓶類重量較輕。
2. 鐵罐類和鋁罐屬金屬，但僅有鐵罐類會受磁力吸引。

3.玻璃瓶類易破碎，分類過程中應有防範破碎之設備。

(三) 設備原理：

本研究利用槓桿、磁力及空氣阻力等原理，將四類可回收廢容器分類，其簡圖說明如圖一所示。

(四) 槓桿尺寸之條件式：

本研究之槓桿需要滿足三個條件：

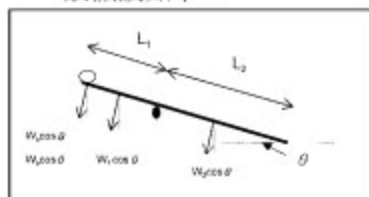
1. 常態（未有可回收廢容器投入時）應保持左上右下之平衡狀態。

2. 玻璃瓶類投入時需左傾斜，使其分選出。

3. 其它三類投入時，需保持常態平衡狀態。

依上述條件可瞭解此槓桿需滿足在投入重量最輕之玻璃瓶時候，仍可使其左傾，且在投入重量最重之其它三類可回收廢容器時仍能維持常態（左上右下），

故假設如下：



槓桿支點左方力臂為 L_1 、右方力臂為 L_2

板左方重量為 W_1 、板右方重量為 W_2

投入重量最輕之玻璃瓶重為 W_g

投入重量最重之其它三類可回收容器重量為 W_0

$$\text{即得(1)} W_1 \cos \theta \times \frac{L_1}{2} < W_2 \cos \theta \times \frac{L_2}{2}$$

$$(2) W_g \cos \theta \times L_1 + W_1 \cos \theta \times \frac{L_1}{2} > W_2 \cos \theta \times \frac{L_2}{2}$$

$$(3) W_0 \cos \theta \times L_1 + W_1 \cos \theta \times \frac{L_1}{2} < W_2 \cos \theta \times \frac{L_2}{2}$$

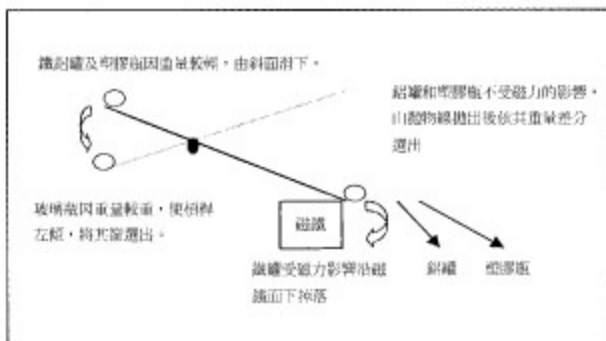
因 $\cos \theta$ 在 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 為正數，故可約分刪除，故槓桿力矩與其水平面夾角無關。故上三式化簡為：

$$(1) W_1 \times \frac{L_1}{2} < W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

$$(2) W_g \times L_1 + W_1 \times \frac{L_1}{2} > W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

$$(3) W_0 \times L_1 + W_1 \times \frac{L_1}{2} < W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

由以上可知先決定槓桿長度和重量，再由基本調查資料代入 W_0 及 W_g ，即可獲取槓桿最適配置尺寸。



圖一 四類可回收廢容器分類簡圖

(五) 鋁罐類、塑膠瓶類之分離：

鋁罐類不受磁力影響，在環工上乃使用光學選別機或渦電流選別機來做機械分類，但過於複雜而無法應用於本研究。而最後僅剩之鋁罐類及塑膠瓶類，可利用其到達槓桿斜面尾端所成之水平拋物線運動，因其二者重量差及空氣阻力所造成拋物線軌跡之差異來進行篩選分類。

1. 水平拋物線軌跡攝影實驗：

因鋁罐類、玻璃瓶類離開槓桿斜面尾端所成之水平拋物線運動，因速度快無法用肉眼觀察其差異。本實驗以黑色畫有方格（每格長度五公分）當作背景，使用單眼照相機之B快門加長其曝光時間，以攝得其動線軌跡，再將其動線軌跡轉繪至圖表。

2. 由所收集之鋁罐類、塑膠瓶類容器，各材質、大小取一種代表，進行軌跡攝影實驗，並依轉繪圖表分析「可分離點」之最適位置，以利此二類容器篩選出。

(六) 設備之效率指標：

依謝錦松等著「固體廢棄物處理」書中定義分類設備效率如下：

$$\text{回收率} = \frac{\text{分選後欲分選出物之重量}}{\text{分選前後欲分選出物之重量}}$$

$$\text{排斥率} = \frac{\text{分選後欲排斥出物之重量}}{\text{分選前欲排斥出物之重量}}$$

$$\text{效率} = \text{回收率} \times \text{排斥率}$$

因上述分選設備，皆需先破碎處理再進行分選，故乃以重量比值，惟本研究無法以重量比值來表示。所以本研究採以個數比值來表示之。

$$\text{回收率} = \frac{\text{分選後欲分選出物之個數}}{\text{分選前後欲分選出物之個數}}$$

$$\text{排斥率} = \frac{\text{分選後欲排斥出物之個數}}{\text{分選前欲排斥出物之個數}}$$

$$\text{效率} = \text{回收率} \times \text{排斥率}$$

本研究即依上述效率指標，由所蒐集鋁罐類及塑膠瓶類各挑選二十個為代表，來進行鋁罐類與塑膠瓶類之「可分離點」最適位置之評估及優劣選擇。

五、研究結果與討論

(一) 收集可回收廢容器之基本資料分析：

針對市面上販售飲品之包裝容器，相同瓶型、材質選取一種代表。其基本資料如表一所示。

(二) 槓桿尺寸之計算：

本研究設備之槓桿條件式如下：

$$(1) W_1 \times \frac{L_1}{2} < W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

$$(2) W_g \times L_1 + W_1 \times \frac{L_1}{2} > W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

$$(3) W_0 \times L_1 + W_1 \times \frac{L_1}{2} < W_2 \times \frac{L_2}{2}$$

假設 $L_1 = X$ cm 則 $L_2 = (L - X)$ cm

$$W_1 = \frac{W}{L} \times L_1, W_2 = \frac{W}{L} \times L_2$$

代入(1)(2)(3)式中得

$$(1) X < \frac{L}{2}$$

$$(2) X > \frac{WL}{2} (W_g + W)$$

$$(3) X > \frac{WL}{2} (W_0 + W)$$

已知槓桿之板總重為997.3g，長度為50cm

收集廢容器中重量最輕之玻璃瓶重 $W_g = 111.8$ g

重量最重之其它三類容器重 $W_0 = 68.2$ g

得(1) $X < 25$

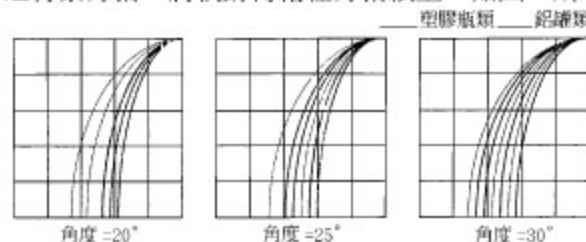
$$(2) X > 22.5 \quad \text{即 } 22.5 < X < 23.4$$

$$(3) X < 23.5$$

故令 $X = 23$ cm，即槓桿支點位置距槓桿左端23cm處。

(三) 鋁罐類、塑膠瓶類「可分離點」之選擇：

經水平拋物線軌跡攝影實驗結果，依20°、25°、30°等三個不同角度，每一角度按其照片之背景方格，將軌跡轉繪在方格紙上，如圖二所示。



圖二 水平拋物線軌跡攝影動線軌跡轉繪圖

表一 所蒐集各類材質之可回收廢容器明細表

類別	品名	重量	品名	重量
玻璃瓶	中華梅子綠茶	217.4	奧利多	153.5
	德國黑麥汁	162.9	葡萄汁	156.6
	祁連羊乳	138.3	高屏羊乳	111.8
	威路氏葡萄汁	158.7		
紙罐	黑麥綠梅桃汁	53.9	旺仔牛奶	42.4
	伯朗藍山咖啡	43.0	藍山咖啡	46.7
	味全蘆筍露	42.8	優道蘆筍汁	56.3
	味丹青草茶	68.2	統一茶本多	56.4
塑膠瓶	農民優酪乳	38.3	統一優酪乳	25.7
	味丹多喝水	29.7	BONAQA 礦泉水	36.5
	元康優酪乳	31.9	統一奧當多	33.4
	象二米奶	30.7	H ₂ O 純水	30.7
鋁罐	故鄉味青草茶	65.2	悅氏礦泉水	30.3
	可口可樂	17.0	維大力	12.0
	舒跑	17.6	七喜汽水	20.2
	百事可樂	20.5		

由上圖得知，角度 $=20^{\circ}$ 時，塑膠瓶類及鋁罐類其拋物線較為分散，而角度 $=25^{\circ}$ 、 30° 時二類其拋物線軌跡較為混亂，不易分開，故較適合之角度為 20° ，並依圖尋找可分離點之方案有三：以X軸向左、Y軸向下為正，分別為 $(X,Y)(1.5,2)-(1.8,3)$ 、 $(2.2,4)$ ，由此以隔板裝置在三個「可分離點」，再經由設備效率指標評估，取得最適「可分離點」之位置。

(四) 設備效率指標之評估：

由水平拋物線攝影軌跡，求出在槓桿與水平夾角 20° 拋出時能使鋁罐類和塑膠瓶類分選出之「可分離點」座標分別為 $(X,Y)=(1.5,2)(1.8,3)(2.2,4)$ 〔每單位為5公分〕。現以所收集各二十個鋁罐及塑膠瓶作分選實驗，並分別在上述三個「可分離點」裝置隔板，其所得結果如是表：

可分離點	應分選出塑膠瓶部分		應分選出鋁罐類部分	
	塑膠瓶數目	夾雜鋁罐數目	鋁罐類數目	夾雜塑膠瓶數目
(1.5, 2)	2	2	18	18
(1.8, 3)	8	6	14	12
(2.2, 4)	12	4	16	8

若以塑膠瓶類為欲分選出物，則鋁罐類為欲排斥物，則其回收率、排斥率及效率如下表：

可分離點	回收率	排斥率	效率
(1.5, 2)	0.1	0.9	0.09
(1.8, 3)	0.4	0.7	0.28
(2.2, 4)	0.6	0.8	0.48

依上表設備效率最大之「可分離點」為 $(2.2,4)$ ，換算距離為（11公分，20公分），其效率為0.48，故此點應為最適「可分離點」之位置。

惟三個「可分離點」其效率皆未超過百分之五十，效率最好僅有0.48，原因乃為塑膠瓶類及鋁罐類之重量差異較小，欲藉由射出拋物線因重量差所產生之軌跡差異分選出其二類，實有困難。本研究選出之最適「可分離點」為 $(2.2,4)$ ，其對於塑膠瓶類之回收率仍有0.8，惟對鋁罐類之回收率（即針對塑膠瓶類為排斥率）較差，僅有0.6。

六、結論

（一）本研究之簡易資源回收設備，乃利用槓桿、磁力及射出拋物線因重量差所產生之軌跡差異，依序來分選玻璃瓶類、鐵罐類、鋁罐類及塑膠瓶類。

（二）槓桿之板面長五十公分寬四十公分，其支點選定經計算，應設於距左

端23公分處，以滿足本槓桿三個條件式。

（三）經水平拋物線攝影實驗所產生之拋物線軌跡觀察，槓桿與水平線之夾角為二十度時，較易使塑膠瓶類及鋁罐類分選出。

（四）經水平拋物線攝影實驗所產生之拋物線軌跡之轉繪圖型求得三個「可分離點」，經由設備效率指標試驗，得最適之「可分離點」離槓桿斜面尾端右側十一公分且下方二十公分處。

（五）塑膠瓶類及鋁罐類之重量差異較小，如欲藉由射出拋物線因重量差及空氣阻力所產生之軌跡差異分選出其二類，實有困難。而本研究中選出之最適「可分離點」對於塑膠瓶類之回收率仍有0.8，惟對鋁罐類之回收率較差，僅有0.6。由於在模型實驗所得之「可分離點」乃經觀察求出，不免不精確，故在設備製作時，對於「可分離點」應設計可調整，以達最大效率之目的。

（六）本研究未來再研究方向，可針對塑膠瓶類及鋁罐類之分選，本次實驗藉由射出拋物線因重量差及空氣阻力所產生之軌跡差異分選出其二類，其效率並不計理想。未來可針對其二類之差異性，如鋁罐類具有導電性或以靜電力來減緩鋁罐類之尾端速度，以利其二類分離來進行研究。

七、參考資料

- （一）謝錦松、黃正義，「固體廢棄物處理」，淑馨出版社，1997.6。
- （二）行政院環境保護署，「綠色家園」，行政院環境保護署，1996。
- （三）行政院環境保護署，「資源回收四合一」，行政院環境保護署，1997。

評語

本作品對資源回收分類問題提出了極具推廣潛力的方法和實體，十分成功，研究方法利用簡單物理原理如槓桿、磁力及重力等，有效回收玻璃瓶、鐵罐、鋁罐及塑膠瓶，實體的設計也極為簡單，實為一件不可多得之作品。此外，本作品對國人環保意識的提升，也將有莫大之助益，畢竟「人人做環保」的理念，還是要藉助類似本作品簡易可行資源回收分類設備的推廣，才能落實。

