



迷你拋石器

羅芳晔 老師

一、目的

拋石器是直接使用槓桿原理或依靠物體彎曲時產生的彈力來啟動槓桿的裝置，它能把大石頭或鐵球等發射到遠方的目標，是古代攻城作戰時，用以射遠達成強大破壞力的重要武器之一。根據相同的科學原理與觀念，我們可用曬衣夾、竹筷子與橡皮筋等隨手可取得的材料，設計成活動一與活動二兩種簡易又富趣味性的迷你拋石器，操作中除了體驗槓桿原理、彈性力學及能量守恆原理的應用外，還可瞭解拋體運動，使物體拋的遠、拋的準的技巧。

二、原理

要使物體繞著定點 O 轉動需要施力，施力的位置稱為施力點 A ；定點與施力點的直線距離 $OA=r$ 為力臂，垂直於力臂的力 F_{\perp} 稱為有效力，而力臂與有效力之乘積則為使物體轉動的力矩 τ ，表為： $\tau = r \times F_{\perp}$

又當物體之質量 m 可視為集中於稱為質量中心（簡稱為質心）的一點時，若使物體繞著距離質心為 r 之定點 O 轉動，它就有轉動慣量 $I = mr^2$ 。此時轉動的角加速度為 α ，則力矩為 $\tau = r \times F_{\perp} = I\alpha$

此角加速度決定了物體轉動時的角速度 ω ，角速度越大則物體沿軌跡之切線速度 v 越大，此切線速度的方向決定了拋射的準度；其大小則決定拋射時的遠近。所以在本活動中若能適當控制各個變因，便能在競賽中獲致佳績。

三、活動一：使用手持式拋石器射遠

(一)場地

每一組使用如圖 1 所示之場地。圖中 P 為發射區； A 、 B 、 C 、 D 、 E 為得分區。

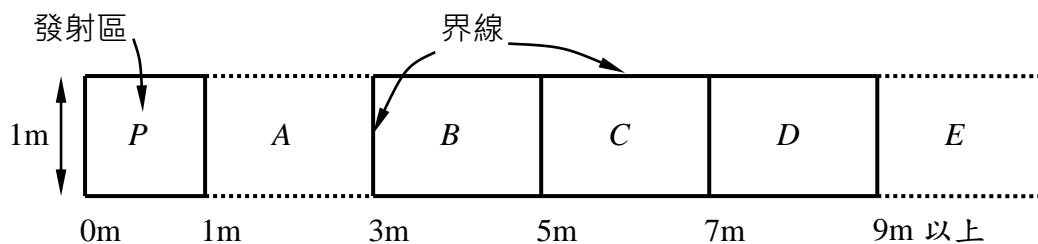


圖 1

(二)使用材料

1. 大會提供

如圖 2 所示，台製全塑膠材質曬衣夾 1 支/人、長度約 16cm 之塑膠湯匙 1 把/人、直徑約 4cm 之乒乓球 3 個/人、長度約 20cm 之竹筷子 1 支/人、橡皮筋 4 條/人。

2. 學生自備

自備工具如剪刀、美工刀、尖嘴鉗、練習用乒乓球等。

(三)競賽說明

1. 操作方式

- (1) 競賽現場使用規定材料與工具，如圖 3 所示，先將塑膠湯匙的握柄以兩條橡皮筋在曬衣夾上方壓柄之兩端位置分別纏繞固定好。
- (2) 接著將竹筷子之鈍端（有環形凹槽處）放入衣夾鉗口端的拱型凹槽內，再用兩條橡皮筋交叉纏繞固定於沒有湯匙的拱型凹槽內，完成後如圖 4 所示。（注意：左撇子插入筷子的方向應與圖示相反）。

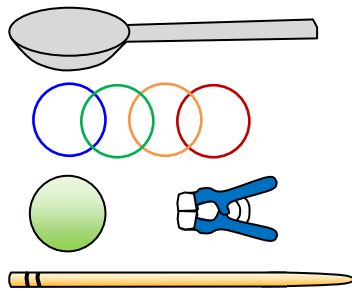


圖 2

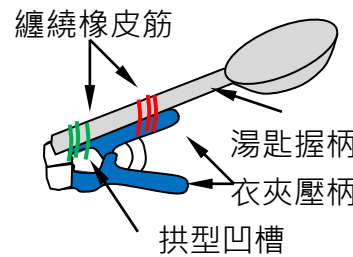


圖 3

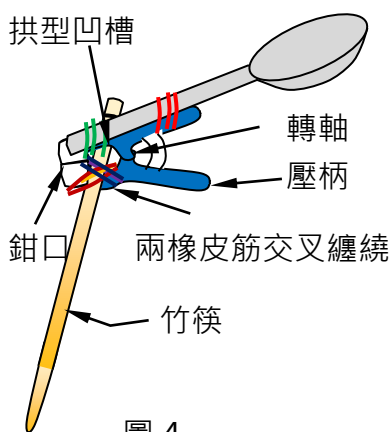


圖 4

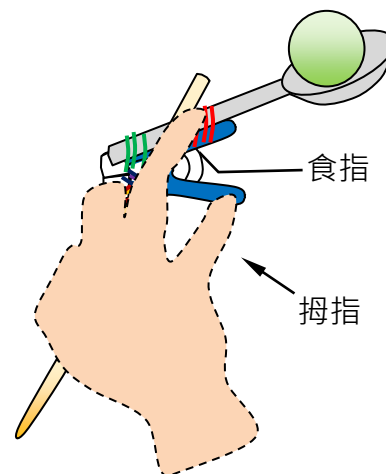


圖 5

- (3) 發射時，如圖 5，左手（左撇子用右手）握竹筷的自由端，再分別以食指及拇指上下壓住衣夾之壓柄，使衣夾前端張開，接著右手（左撇子用左手）拿乒乓球放在湯匙之杓內並使勁向下施力，使湯匙柄產生彎曲，所以當拿

球的右手與壓夾柄之左手兩手指同時放開後的瞬間，便因彈力與槓桿的作用，乒乓球會被高速拋射出去，飛向遠方的目標。

- (4) 各組的競賽場地大小如圖 1 所示的長方形，圖中 P 區為發射區， A 、 B 、 C 、 D 、 E 均為得分區。
- (5) 參賽隊伍每位隊員均需製作一組拋石器，競賽時，各組隊員拿著自己的拋石器，在等候區內接受裁判指揮再輪番上場。上場時，第一棒站入場地之 P 區，第二棒、第三棒依序站在 P 區外第一棒後面，靜候裁判號令以開始進行三次循環之接力比賽。
- (6) 每位隊員每次進入發射位置時，由裁判發給乒乓球一個，作為發射球。

2. 計分方式

- (1) 競賽者將乒乓球射入圖 1 之得分區內作為每次發射之得分依據。

表 1

區號	界外	A	B	C	D	E	違規
分數	1	3	6	12	24	48	0

- (2) 各得分區之分數依表 1 所列，評審評定標準如下：
- ① 乒乓球第一次落地點所在區域，作為該次得分記錄。
 - ② 乒乓球落地點壓線或難以區分界區時，以較高分數計算。
 - ③ 發射者未使用拋石器或借用他人的拋石器發射乒乓球時，視同違規，成績以 0 分計算。
 - ④ 發射者在發射區內踩線發射時，視同違規，成績以 0 分計算。
 - ⑤ 射出發射區後的球，若落在得分區以外，一律以 1 分計算。
 - ⑥ 發射乒乓球時，不得有連同拋石器往前拋甩的動作，故違者，該次以零分記入。
- (3) 每隊競賽之總時間共計 4 分鐘，逾時部分不列入計分。
- (4) 每位隊員均需上場參賽，不得頂替，違規者成績以 0 分計算。
- (5) 得分記錄如表 2，其中 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} ； R_{21} 、 R_{22} 、 R_{23} ； R_{31} 、 R_{32} 、 R_{33} 分別代表三位隊員各次得分點數。最後全隊在活動一所得總分 T_1 以下列運算式計分，即 $T_1 = (R_{11} + R_{12} + R_{13}) + (R_{21} + R_{22} + R_{23}) + (R_{31} + R_{32} + R_{33})$

(6) 統整上述關係得紀錄表格，如表 2。

表 2

$R_{11} =$	$R_{21} =$	$R_{31} =$
$R_{12} =$	$R_{22} =$	$R_{32} =$
$R_{13} =$	$R_{23} =$	$R_{33} =$
$T_1 = (R_{11} + R_{12} + R_{13}) + (R_{21} + R_{22} + R_{23}) + (R_{31} + R_{32} + R_{33}) =$		

(7) 將各隊活動一所得總分 T_1 按高低順序排列後，依六等第計分法（見表 5）計分，得活動一之成績 X 。

四、活動二：使用重力式拋石器射準

(一)場地

每一組在競賽場地的水平面上，規劃如圖 6 所示之場地。

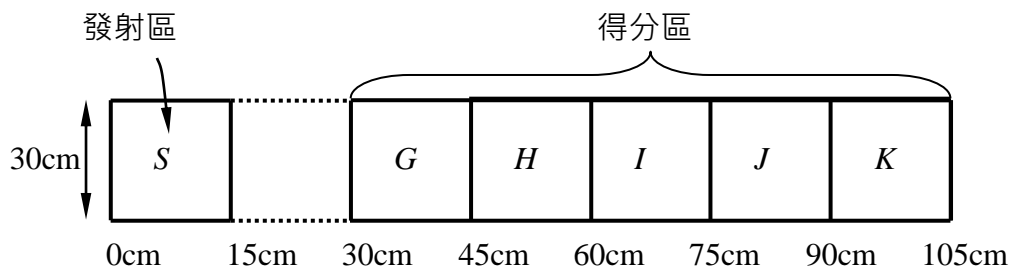


圖 6

(二)使用材料

參考圖 7 所示：

1. 大會提供

長度約 20cm 之竹筷子 2 支/人、長度 60cm 魔帶 1 段/人、長度 60cm 棉線 1 段/人、直徑 12cm 之 CD 光碟 2 片/隊、泡棉膠帶長度 20cm/隊、竹牙籤 1 支/人。

2. 學生自備

- (1) 自備材料：圓柱型塑膠咖啡空罐 2 個/隊、保特瓶蓋 1 個/人、原子筆筆套 2 支/隊（參考圖 8）、載重杯 1 只/人（參考圖 8）、油性彩色黏土兩包（每包約 400 克）、保特瓶蓋 1 個/人、廢電池；銅幣或墊片若干。
- (2) 自備工具：如剪刀、美工刀、尖嘴鉗、錐子等。



圖 7

(三) 競賽說明

1. 操作方式

- (1) 利用大會提供或規定的自備材料，在規定的時間內進行重力拋石器的製作。
- (2) 參考圖 8 所示，圖中有自行打孔後的咖啡杯、魔帶、用魔帶綁上牙籤並穿過蓋頂的瓶蓋、用魔帶綁竹筷製作的槓桿組件、自備的載重用優格杯（簡稱載重杯）、筆套、棉線、及魔帶。



圖 8

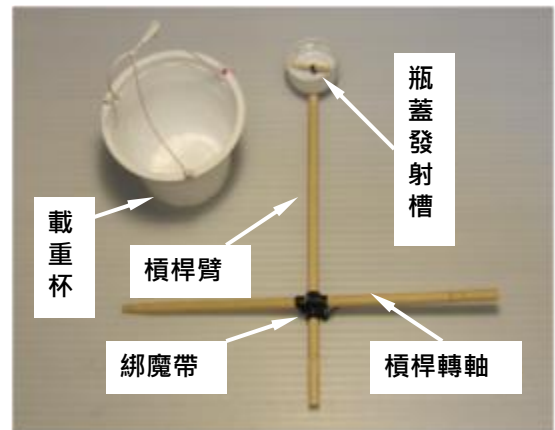


圖 9

- (3) 參賽者每人均需製作一組槓桿發射裝置，其組件參考圖 9 所示，其中
 - ① 載重杯是將優格杯口附近的適當位置鑽孔，再用棉線穿過孔洞綁成吊掛線以便吊掛在槓桿臂上。
 - ② 將作為槓桿臂的竹筷尖端先用刀片整修成平面，再將瓶蓋綁在平面上固定成為發射槽。
 - ③ 將作為槓桿臂的竹筷鈍端凹環位置用刀片削成 V 型凹槽，以便綁上載重杯的吊掛線。
 - ④ 取來另一根竹筷子，將其中心位置以魔帶纏緊固定於槓桿臂的適當位置，最後把載重杯的吊掛線用魔帶固定在 V 型凹槽位置，槓桿發射裝置便組裝完成。
- (4) 每隊需製作並共用一組槓桿支架，組件如圖 10 所示(槓桿支架不可使用任何粘著材料粘貼於地面)。
- (5) 參賽者每人均需製作三個自定大小之油性黏土球。
- (6) 把槓桿發射裝置與槓桿支架組合起來，完成後即為如圖 11 所示的重力拋石器。
- (7) 競賽預備時，各組隊員應先將自己的三個黏土球交給裁判保管，再拿著自己的槓桿發射裝置，在等候區內接受裁判指揮再輪番上場。

- (8) 上場時，第一棒站入場地之 S 區前方，第二棒、第三棒依序站在第一棒後面，靜候裁判號令以開始進行接力比賽。
- (9) 在裁判號令競賽開始下，第一棒才可將自己的槓桿發射裝置組裝在支架上，並於完成重力拋石器後，再進行射準操作競賽。
- (10) 操作重力拋石器時，應先把適量的自備重物裝入載重杯內，再向裁判索取一個現場稱量並記錄質量克數的黏土球，將其放在瓶蓋做成的發射槽內，然後操控槓桿發射裝置將黏土球射向得分區。
- (11) 從黏土球置入發射槽起到射出的過程，只准用手壓放發射槽及黏土球，不得有撥動槓桿裝置以協助拋射的動作，違者該次以 0 分計算。
- (12) 每位參賽者應連續發射三球，射完後高喊『發射完成』並離場，下一位參賽者方可接棒上場。
- (13) 活動二之每隊競賽總時間共計 6 分鐘，逾時部分不列入計分。



圖 10

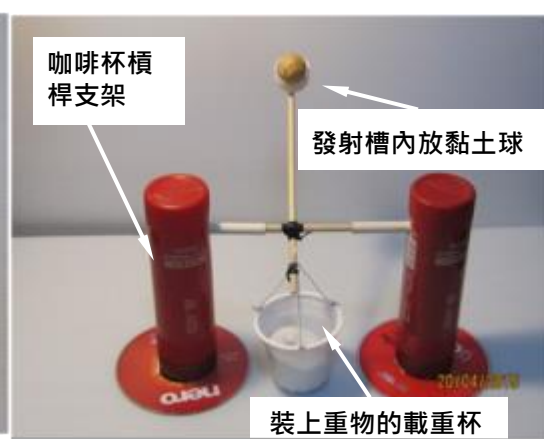


圖 11

2. 計分方式

- (1) 競賽者每次將黏土球射入圖 6 之得分區內時，將表 3 所列點數乘以該次所發射之黏土球的質量作為得分依據。

表 3

區號	界外	G	H	I	J	K	違規
分數	0	3	6	12	24	48	0

- (2) 各得分區之評審評定標準如下：

- ① 球第一次落地點所在區域，作為該次得分點數記錄。
- ② 球落地點壓線或難以區分界區時，以較高分點數計算。
- ③ 參賽者未使用拋石器或借用他人的槓桿發射裝置發射黏土球時，視同違規，成績以 0 分計算。

- ④發射裝置的 CD 光碟片應放入發射區內，發射時壓線視同違規，成績以 0 分計算。
- ⑤射出發射區後的球，若落在得分區以外，一律以 0 分計算。
- (3) 每隊競賽之總時間共計 6 分鐘，逾時部分不列入計分。
- (4) 每位隊員均需上場參賽，不得頂替，違規者成績以 0 分計算。
- (5) 得分記錄如表 4，其中 W 代表黏土球質量、 N 代表得分點數、 U 代表個別隊員之總得分值。最後各組在活動一所得總分 T_1 以下列運算式計分，即
- $$T_2 = U_1 + U_2 + U_3$$
- (6) 統整上述關係得紀錄表格，如表 4。
- (7) 將各隊活動二所得總分 T_2 按高低順序排列後，依六等第計分法（見表 5）計分，得活動二之成績 Y 。

表 4

第一棒	第一次拋射	$W_1 =$	$N_1 =$	$U_1 = W_1 \times N_1 + W_2 \times N_2 + W_3 \times N_3$ $=$
	第二次拋射	$W_2 =$	$N_2 =$	
	第三次拋射	$W_3 =$	$N_3 =$	
第二棒	第一次拋射	$W_1 =$	$N_1 =$	$U_2 = W_1 \times N_1 + W_2 \times N_2 + W_3 \times N_3$ $=$
	第二次拋射	$W_2 =$	$N_2 =$	
	第三次拋射	$W_3 =$	$N_3 =$	
第三棒	第一次拋射	$W_1 =$	$N_1 =$	$U_3 = W_1 \times N_1 + W_2 \times N_2 + W_3 \times N_3$ $=$
	第二次拋射	$W_2 =$	$N_2 =$	
	第三次拋射	$W_3 =$	$N_3 =$	
活動二總分	$T_2 = U_1 + U_2 + U_3 =$			

五、競賽時間

- (一) 製作：活動的製作與測試時間 (含說明及領取材料) 共 20 分鐘。本項競賽必需在 70 分鐘內完成，含準備、全部組別闖關、計分。
- (二) 評審：

表 3：六等第記分法

名次	一	二	三	四	五	六
隊數	1	3	8	12	16	其它
得分	30	21	15	12	9	6

六、評等

1. 活動一之成績 X 與活動二之成績 Y 相加得 Z ，即 $Z = X + Y$ 。
2. 將所有參賽隊伍所得之 Z 值再以六等第計分法排序，得最高分者為本項優勝，若最高分不只一隊時，則以活動一之原始成績最佳者獲得單項優勝獎。

七、活動三：創意競賽

1. 根據槓桿原理設計而成，且具備類似活動一或活動二的活動均可。
2. 要繳作品書面報告 (包括文字、圖、照片等，限在 A4 紙兩頁內呈現)。
3. 評分方式，依整體創意 40%、功能 20%、美觀 20%、書面報告 20% 等特色評分，得分最高的隊伍，頒發創意獎。此項評分獨立計績，不列入總成績內。

八、競賽時間

- (一) 製作：活動一、二的製作與測試時間 (含說明及領取材料) 共 20 分鐘。
- (二) 評審：活動一、二分區同時進行，共 50 分鐘。
- 注意：本項活動必需在 70 分鐘內完成。

九、總評分

1. 活動一之成績 X 與活動二之成績 Y 相加得 Z ，即 $Z = X + Y$ 。
2. 將參賽隊伍所得之 Z 值再以六等第計分法排序，得最高分者為本項優勝，若最高分不只一隊時，則以活動一之原始成績最佳者獲得單項優勝獎。
3. 活動三，創意競賽成績不併入大會獎計分，另予頒發數名創意獎。

十、給評分者的建議

(一) 檢查事項

1. 活動一

- (1) 檢查乒乓球是否變造或非大會所發給的規格。
- (2) 檢查塑膠湯匙是否大會發給的規格。
- (3) 檢查筷子是否大會發給的規格。
- (4) 檢查組裝零件是否使用規定以外的材料。

2. 活動二

- (1) 檢查是否使用油性黏土作為發射用球(黏土球內不可含其它材料)。
- (2) 檢查組裝零件是否使用規定以外的材料。
- (3) 檢查咖啡杯空罐內是否有添加其它物品或改變其外型(包含墊高及添加非規定物品)。
- (4) 檢查未通過者，可在3分鐘內補全(補全動作僅限一次且該隊比賽延後兩輪)，補全過後若檢查未通過，則取消該項參賽資格

(二) 學生操作

1. 比賽活動一時

- (1) 發射乒乓球時必須使用拋石器的槓桿功能進行操作，若有連同拋石器往前拋甩的動作，視同違規，且該次以零分記入。
- (2) 每一次違規時裁判需向參賽者做明確的口頭宣告。
- (3) 提醒競賽者，發射時不可超越起始線(包含拋石器)，越線則該次分數以零分計。

2. 比賽活動二時

- (1) 黏土球的發射必須以重力為動力的槓桿裝置進行，若有其他非使用重力之助拋的動作時，視同違規。
- (2) 每一次違規時裁判需向參賽者做明確的口頭宣告。
- (3) 提醒競賽者，發射時不可超越起始線，越線則該次分數以零分計。

(三) 節省時間：活動一與活動二的評審要同時進行。

十一、給競賽者的建議

(一) 請參考「給評分者的建議」，確實做到符合各檢查項目及操作時應注意事項。

(二) 活動一與活動二的器材均容易取得(若無法取得，請洽遠哲科學教育基金會高振翔先生，電話2363-3118#14或至遠哲科趣FB及遠哲官網最新消息，將不定時有補充說明)，因此可以在家事先勤加演練，方能在競賽時獲取佳績。

十一、材料及工具總表

名稱	品名	規格	數量	備註
活動一	競賽用乒乓球 曬衣夾 塑膠湯匙 竹筷子 橡皮筋	直徑 4cm 台灣製造全塑膠材質 長度 16cm 長度 20cm 直徑 5cm	每隊 9 個 每隊 3 支 每隊 3 支 每隊 6 支 每隊 12 條	大會提供
	剪刀、美工刀、尖嘴鉗、 練習用乒乓球等	自選		學生自備
活動二	竹筷子 魔帶 1 段 棉線 1 段 CD 光碟片 泡棉膠帶 竹牙籤	長度約 20cm 長度約 60cm 長度約 60cm 直徑約 12cm 長度約 20cm	每隊 6 支 每隊 1 段 每隊 3 段 每隊 2 片 每隊 1 段 每隊 3 支	大會提供
	保特瓶蓋 圓柱型塑膠咖啡空罐 原子筆套或硬質吸管 載重杯 彩色油性黏土 重物如廢電池、銅幣、墊 片等	自由選用 直徑約 5cm(正負 1cm); 高約 17cm(正負 1cm) 自由選用 自由選用 400 克 自由選用	每隊 3 個 每隊 2 個 自行決定 自行決定 2 包 自行決定	學生自備
工 具	美工刀、剪刀、打孔機、 尖嘴鉗等	自由選用	自行決定	學生自備