

彰化縣 109 年第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小丙組

作品名稱：Q 彈有力「投石」趣

關 鍵 詞：槓桿原理，投石器

編 號：國小物理 043

## 摘要

我們認識了古代的投石器，其運作方式是透過槓桿原理，將彈丸投射出去。其動力來源分為扭力與重力。我們透過幾種不同設計的掌上型迷你扭力投石器，用來探討不同的投射動力材料、不同的投射臂材料以及不同的彈丸重量，對於投射距離的影響，藉以找出製作起來既方便又有最大射程又最有樂趣的迷你投石器。

## 壹、研究動機

在古代，有一種造型巨大，用來投射沉重的彈丸，藉以破壞對手堅固而高聳的城牆或是密集房舍的機械，它被稱為投石器，外文名稱有 Catapult、Catapulta、Mangonel、Onager，中文也被稱為石弩（即發射石彈之弩）或弩炮。在古代的歐洲國家很早就在使用了。

為了認識這個奇特的東西，我們蒐集了資料，初步認識投石器的構造以及原理。投石器動力來源區分為扭力和重力兩種，我們感興趣的是扭力式的，它是藉由扭絞繩索產生的力量，將彈丸投射出去。它的構造原理是在六年級下學期的自然課本裡所介紹到的「槓桿原理」。

投射臂平時是直立的，頂端是裝彈丸的勺子，下端有扭絞得很緊的固定繩索。投射時，先用絞盤將投射臂拉至接近水平的位置，在勺子裡放置彈丸。當放妥彈丸，鬆開絞盤繩索，投射臂就會快速的彈回原先的垂直位置而將彈丸射出。

我們的實驗希望把這項遠古的大型機械兵器的尺寸縮小至手掌心大小，運用手邊唾手可得的簡單材料稍加製作，就能讓我們體會到拋擲投射的樂趣。

## 貳、研究目的

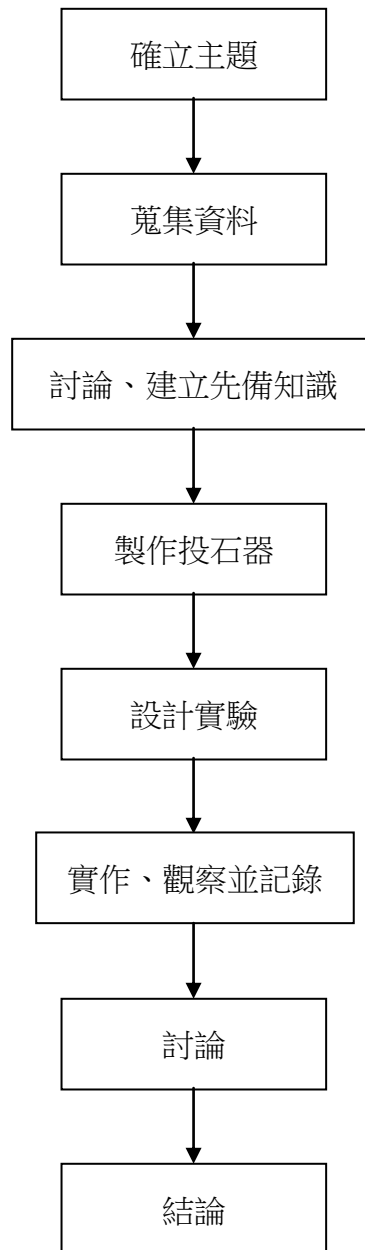
- 一、探討不同投射動力材料（木質、金屬、橡皮筋等）對投射距離的影響。
- 二、探討不同投射臂材料（木質、木質混合塑膠、塑膠等）對投射距離的影響。
- 三、探討不同重量彈丸對投射距離的影響。

### 參、研究設備及器材

名稱	用途說明
冰棒棍 14 cm	製作投石器主要結構
冰棒棍 11 cm	製作投石器主要結構
熱熔膠槍	黏著固定投石器各部位
熱熔膠條	配合熱熔膠槍使用
台式免洗湯匙	軟質塑膠，製作投射臂
西式免洗湯匙	硬質塑膠，製作投射臂
塑膠瓶蓋	製作投射臂的勺子
長尾夾 (小)	投石器動力來源
橡皮筋	1.投石器動力來源 2.綁緊固定投石器各部位
橡皮擦	投射用彈丸
美工刀	切削橡皮擦
電子秤	秤重
捲尺	測量場地及投射距離

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程圖



### 二、研究實驗設計

#### (一)事前準備

##### 1、投石器構形

我們透過網路尋找符合我們需求的投石器構形，並採用於本實驗，共有以下幾種構形：A.十字形、B.三角形、C.正方形。

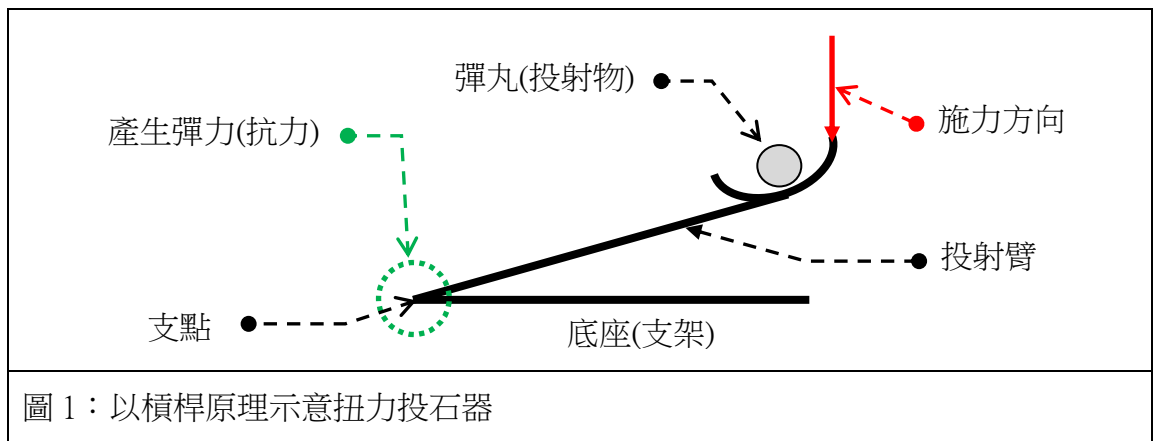


圖 1：以槓桿原理示意扭力投石器

我們準備了幾種不同材質、造型的投射臂：1.冰棒棍加瓶蓋(木質)、2.台式免洗湯匙(木質加塑膠)、3.西式免洗湯匙(塑膠)。

經由以上材料進行搭配組合，我們設計出幾種投石器組合：A-1、A-2、A-3、B-1、B-2、B-3、C-1、C-2、C-3。

製作組合時，A 十字形系列採用若干支冰棒棍疊合構成十字型的橫桿，也作為主要支架，投射臂 1 可直接穿插在橫桿縫隙中間，2 和 3 則需以橡皮筋固定在冰棒棍上，才可以穿插在橫桿上，穿插處就是支點。

B 三角形系列投射臂皆以熱熔膠固定在作為支點的長尾夾上，長尾夾另一端也是以熱熔膠黏著固定在三角形底座上。

C 正方形系列需先做好正方形底座，並有垂直支撐架，皆用熱熔膠黏著加固，投射臂則以橡皮筋固定在橫向支架上以作為支點及活動關節。

## 2、投射動力說明

A 十字形系列係由扳壓冰棒棍本身所造成的形變產生彈力。

B 三角形系列係由長尾夾作為支點，連接投射臂及三角形底座，扳壓投射臂時，長尾夾形變而產生動力。

C 正方形系列係由固定於正方形底座的支撐架，以橡皮筋將投射臂連接固定，扳壓投射臂時造成橡皮筋扭轉形變而產生動力。

## 2、測量彈丸重量及布置實驗場地

經由電子秤測量，以及用美工刀適當切削，作為彈丸的小橡皮擦控制在每顆 4 公克，大橡皮擦控制在每顆 8 公克。

由於彈丸體型小，重量又輕，又有彈性，最初幾次試射時，一飛出去就很難找回來。為了避免投射後不容易找尋回收的情形，我們限縮試射場地長 2.5 公尺，寬 1 公尺的教室窗台上，一邊有窗戶擋住，一邊有足夠位置觀察及操作。



圖 2：同學們製作迷你投石器



圖 3：同學們討論製作心得

## (二)實驗步驟

1.以投石器的**投射動力** A、B、C 為操作變因，投射臂種類和彈丸重量為控制變因，投射距離為應變變因，進行試射後測量彈丸落點距離並做成記錄，探討不同投射動力與投射距離的關係。

2.以投石器的**投射臂種類** 1、2、3 為操作變因，投射動力和彈丸重量為控制變因，投射距離為應變變因，進行試射後測量彈丸落點距離並做成記錄，探討不同投射臂種類與投射距離的關係。

3.以投石器的**彈丸重量**為操作變因，投射動力和投射臂種類為控制變因，投射距離為應變變因，進行試射後測量彈丸落點距離並做成記錄，探討不同彈丸重量與投射距離的關係。



圖 4：試射場地落點區，以籃子收集彈丸

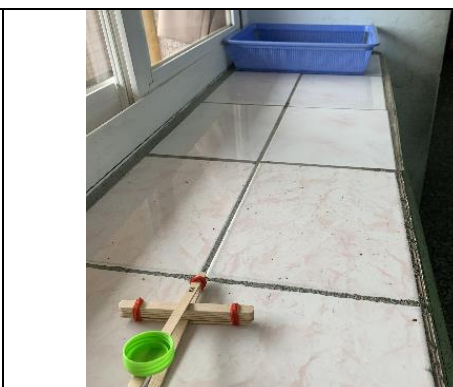
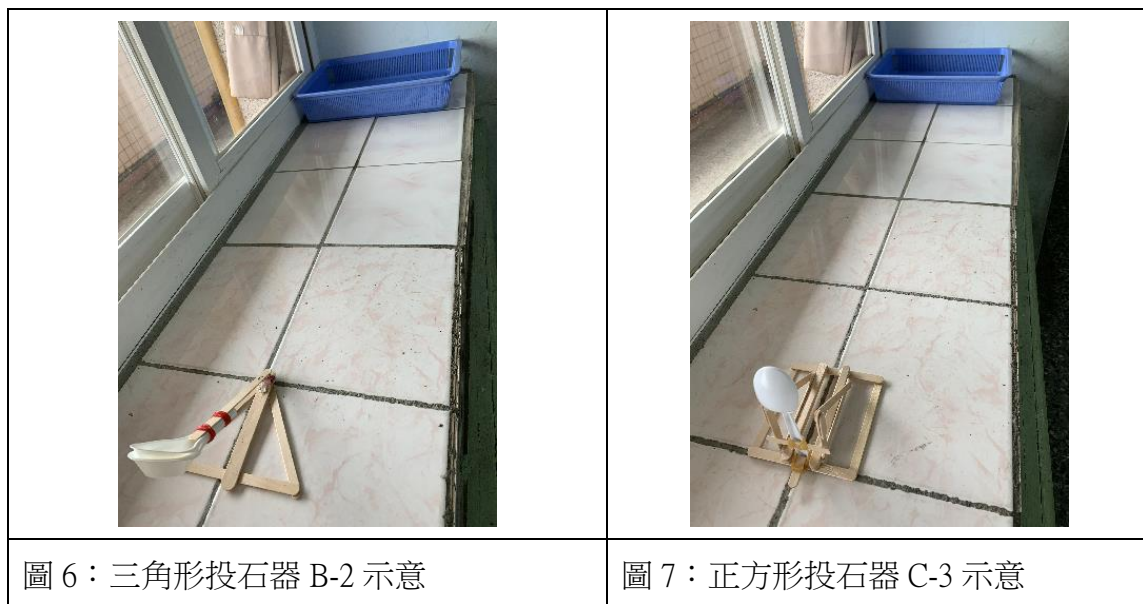


圖 5：十字形投石器 A-1 示意



## 伍、研究結果

表一：投石器試射結果 (單位：公分)

試射結果 投石器	第一次	第二次	第三次	平均
A-1	78	72	75	75.0
B-1	95	99	102	98.7
C-1	135	126	131	130.7
A-2	30	22	35	29.0
B-2	58	46	50	51.3
C-2	117	111	108	112.0
A-3	70	63	67	66.7
B-3	124	138	133	131.7
C-3	152	150	147	149.7

實驗 1：探討不同投射動力與投射距離的關係。

本實驗中，彈丸皆採用小橡皮擦，並將表一所列 A-1、B-1、C-1 同組比較，A-2、B-2、C-2 同組比較，A-3、B-3、C-3 同組比較。

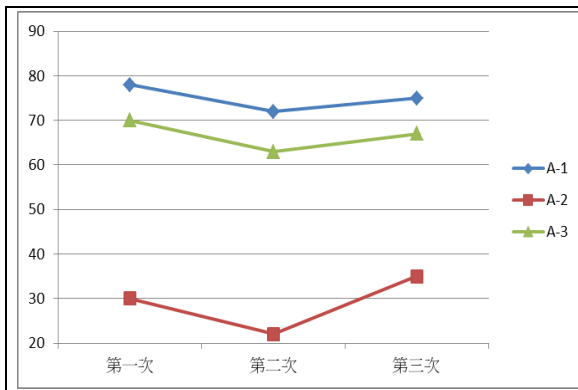


圖 8：以 A 十字形底座，木質冰棒棍為投射動力與投射距離結果折線圖

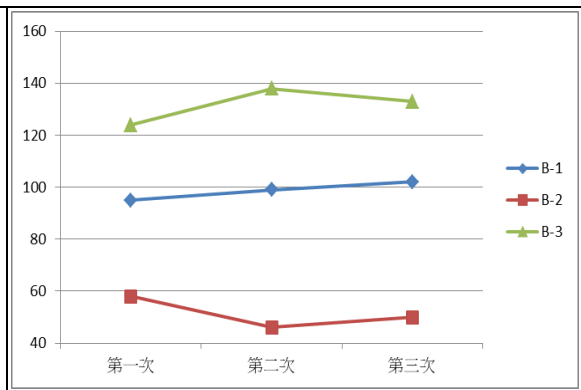


圖 9：以 B 三角形底座，鐵質長尾夾為投射動力與投射距離結果折線圖

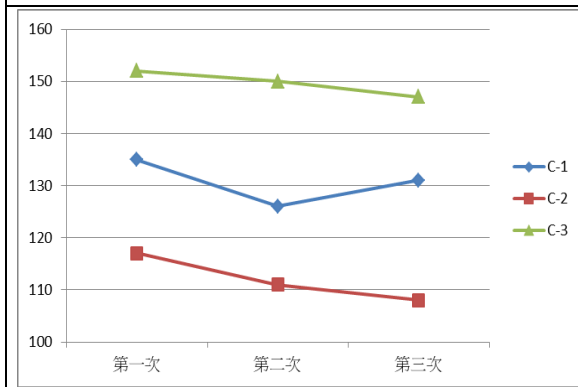


圖 10：以 C 正方形底座，橡皮筋為投射動力與投射距離結果折線圖

實驗 2：探討不同投射臂種類與投射距離的關係。

本實驗中，彈丸皆採用小橡皮擦，並將表一所列 A-1、A-2、A-3 同組比較，B-1、B-2、B-3 同組比較，C-1、C-2、C-3 同組比較。

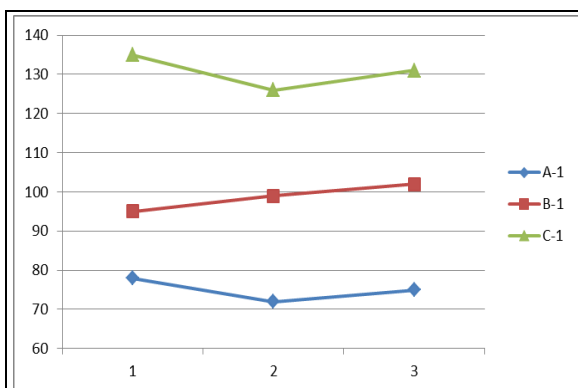


圖 11：以 1.冰棒棍加瓶蓋(木質)為投射臂與投射距離結果折線圖

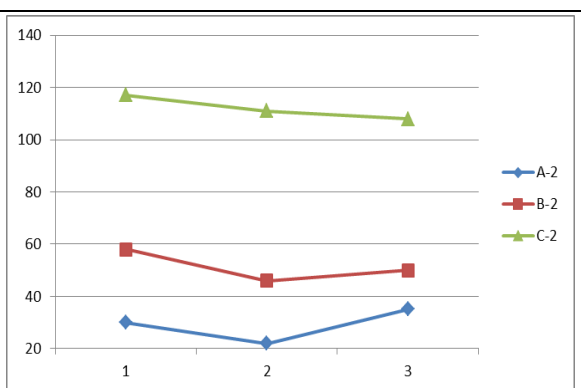


圖 12：以 2.台式免洗湯匙(木質加塑膠)為投射臂與投射距離結果折線圖



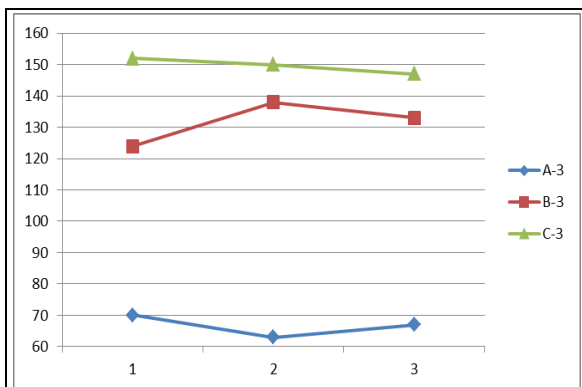


圖 13：以 3.西式免洗湯匙(塑膠) 為投射臂與投射距離結果折線圖

實驗 3：探討不同彈丸重量與投射距離的關係。

本實驗中，我們以前述實驗 1、實驗 2 當中試射距離較遠、表現最穩定的 C-3 作為投射平台，用它分別試射兩種不同重量的彈丸並做成表二記錄。

表二：投石器試射結果 (單位：公分)

彈丸 \ 試射結果	第一次	第二次	第三次	平均
小橡皮擦	149	144	140	144.3
大橡皮擦	75	72	71	72.7

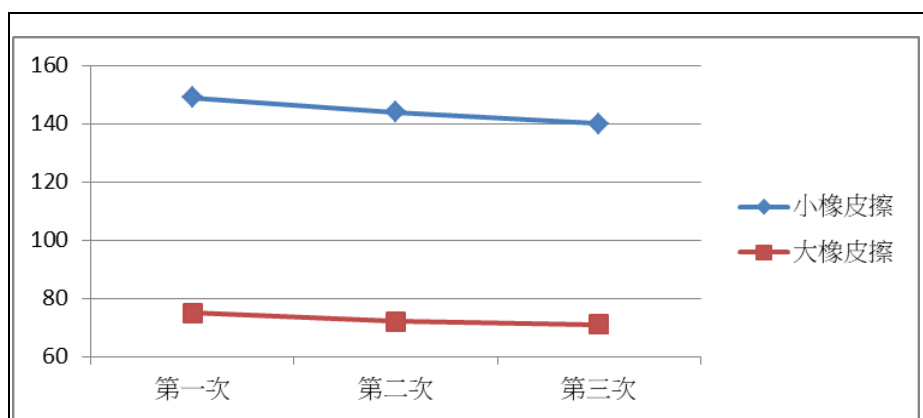


圖 14：不同彈丸重量與試射距離結果折線圖

## 陸、討論

### 一、不同投射動力與投射距離的關係。

- (一) 在 1 組 (冰棒棍加瓶蓋) 的實驗結果中，橡皮筋動力最佳，其次是長尾夾，冰棒棍動力最差。
- (二) 在 2 組 (台式免洗湯匙固定在冰棒棍) 的實驗結果中，橡皮筋動力最佳，其次是長尾夾，冰棒棍動力最差。
- (三) 在 3 組 (西式免洗湯匙) 的實驗結果中，橡皮筋動力最佳，其次是長尾夾，冰棒棍動力最差。
- (四) 綜合以上，橡皮筋是所有投射動力選項中表現最佳的，原因應該是橡皮筋最有彈性，而長尾夾雖然是金屬製成，但是它的鐵片造型也有一些彈性，全木質的冰棒棍最沒有彈性，較難產生彈力。

### 二、不同投射臂種類與投射距離的關係。

- (一) 在 A 組 (十字形) 的實驗結果中，冰棒棍加瓶蓋表現最佳，其次是西式免洗湯匙，台式免洗湯匙固定在冰棒棍表現墊底。
- (二) 在 B 組 (三角形) 的實驗結果中，西式免洗湯匙表現最佳，其次是冰棒棍加瓶蓋，台式免洗湯匙固定在冰棒棍表現墊底。
- (三) 在 C 組 (正方形) 的實驗結果中，西式免洗湯匙表現最佳，其次是冰棒棍加瓶蓋，台式免洗湯匙固定在冰棒棍表現墊底。
- (四) 綜合以上，西式免洗湯匙最適合做為小型投石器的投射臂，其次則為冰棒棍加瓶蓋。原因應該是投射臂需要具備一定的堅硬質地而不過度變形，才能讓我們用手指往下扳壓的方式施力產生反彈力。台式免洗湯匙因材質柔軟，容易因施力變形失去彈力，即使以冰棒棍加強固定，仍表現墊底。

### 三、不同彈丸重量與投射距離的關係。

從表二實驗結果可以看出，越輕的彈丸，投射距離越遠；我們也注意到，同一種彈丸，投射次數越多，投射距離會些許減少，可能是投射動力 (橡皮筋) 因使用多次而逐漸產生疲乏。

## 柒、結論

- 一、投射動力越有彈性，投射距離將越遠。
- 二、投射臂越堅固不易變形，投射距離將越遠。
- 三、彈丸的重量越輕，投射距離將越遠。

## 捌、參考資料及其他

- [1] 國民小學六下自然與生活科技領域教科書。台南市：翰林出版，2019 年 12 月。
- [2] 賴協志，超上古兵器－投石器之研究。中華民國第 42 屆中小學科展，2002 年。
- [3] 陳景輝與林美鐘，攻城利器－投石器之探討。中華民國第 46 屆中小學科展，2006 年。
- [4] 楊恭墉，古代工程師巧思－製作精準的投石器。中華民國第 54 屆中小學科展，2014 年。
- [5] 風間林平著，梅應琪譯，科學遊戲大發現。台北市：台灣東販，2013 年 7 月。
- [6] 許兆芳，STEAM 大挑戰。台北市：商周出版，2018 年 11 月。
- [7] How To Make A Spoon Catapult Out Of Popsicle Sticks  
(<https://youtu.be/iKQaTFfhwWo>)
- [8] 2 catapults out of popsicle sticks  
([https://youtu.be/WpLFC\\_SOpXs](https://youtu.be/WpLFC_SOpXs))
- [9] Popsicle Stick Catapult  
(<https://youtu.be/S0hjoZbVqfk>)
- [10] Popsicle Stick Catapult  
(<https://youtu.be/2QfOu8tzS7s>)
- [11] zfang の科學小玩意。簡單機械動手做～投石機大賽（上）製作篇。  
(<http://n.sfs.tw/content/index/12061>)