

# 嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

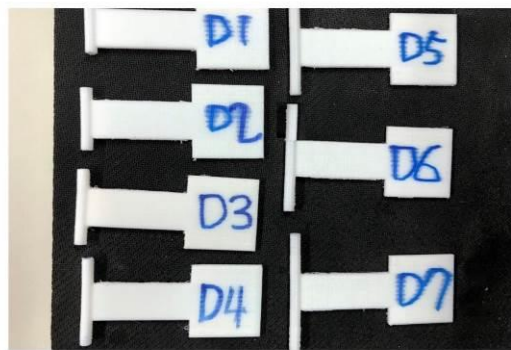
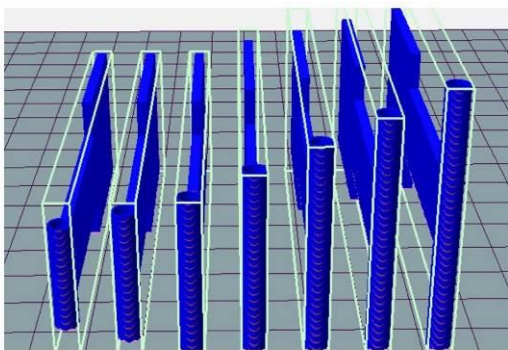
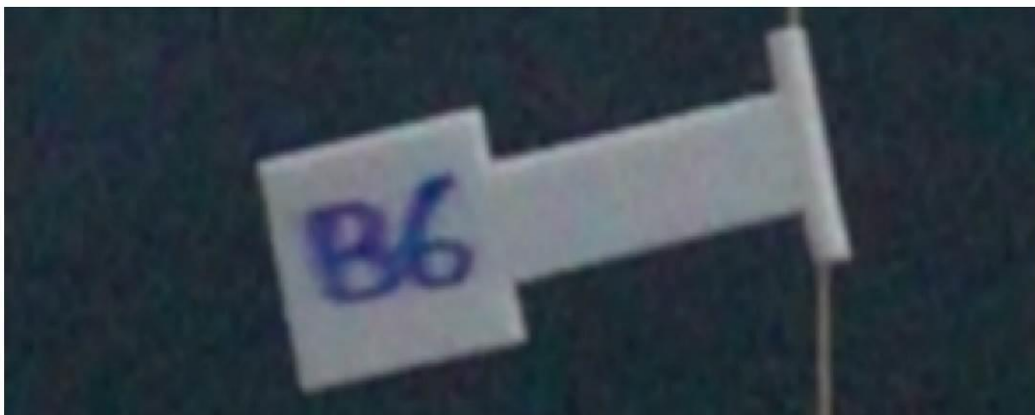
## 作品說明書

科 別：物理

組 別：國中

作品名稱：啄木鳥玩具大挑戰

關 鍵 詞：彈力、力矩、摩擦力



編 號：

## 摘要

偶然發現好玩的啄木鳥玩具，緩慢而可愛的移動方式吸引了我們的興趣，因此想要探討影響啄木鳥玩具移動快慢的機制。本實驗主要利用 3D 繪圖繪製和印製不同的模擬模型，來探討啄木鳥玩具下降移動的影響機制，我們探討模型的物體結構、繩管結構和橡皮筋鬆緊對模型向下移動的影響。研究發現，模型的兩側物體重量差異越大、重量越重、水平重心越外側、垂直重心越中間，則模型向下移動越慢；繩管直徑較小、高度適中，則模型向下移動越慢；橡皮筋較鬆，模型向下移動較慢。啄木鳥玩具有豐富的科學原理，又可以自己設計發揮創客精神，我們認為十分適合拿來做為創客設計競賽。

-

## 壹、研究動機

因為某次校外參訪，我們在禮品店看到至啄木鳥這個童玩，在回學校之後，後來我們又在科學玩具的書上看到如何製作簡易的啄木鳥玩具，發現只要用生活中隨手可得的用品，便可做出簡易的啄木鳥玩具。啄木鳥緩慢而可愛的移動方式吸引了我們的興趣，因此想要探討影響啄木鳥玩具移動快慢的機制，於是設計這次的科展實驗。也期待這個可愛的科學小玩具能夠變成創客的科學競賽(比賽辦法如附件)，大家來設計屬於自己的啄木鳥，以最緩慢的速度下降。(作品與教材之相關性：翰林版二下自然第六章—力與壓力)

## 貳、研究目的

本研究利用 3D 繪圖繪製不同模型，並且用 3D 列印機印製模型，反覆進行實驗來探討影響模型(啄木鳥玩具)下降移動快慢的機制。

- 一、探討「**模型兩側重量**」對模型下降移動的影響。
- 二、探討物體的「**重量**」對模型下降移動的影響。
- 三、探討物體的「**水平重心位置**」對模型下降移動的影響。
- 四、探討物體的「**垂直的重心位置**」對模型下降移動的影響。
- 五、探討「**繩管直徑**」對模型下降移動的影響。
- 六、探討「**繩管高度**」對模型下降移動的影響。
- 七、探討「**橡皮筋鬆緊**」對模型下降移動的影響。

## 參、啄木鳥玩具介紹

### 一、市售啄木鳥玩具

小圓木中間鑽洞穿過小鐵棍，小圓木則用彈簧連接啄木鳥(圖 1)。當啄木鳥固定在小鐵棍上時，用手撥動啄木鳥，啄木鳥就會上下振動而緩慢向下移動。啄木鳥移動畫面連結網址：<http://bit.ly/2vvRgvf>，或掃描 Qrcode(圖 2)連結影片。



(圖 1 啄木鳥玩具)



(圖 2 啄木鳥移動影片連結)

## 二、自製啄木鳥玩具

自行繪製啄木鳥圖案，黏貼固定在小吸管上，再將吸管穿過橡皮筋(圖 3)，將橡皮筋拉長後，啄木鳥就會上下振動而緩慢向下移動。自製啄木鳥玩具的移動畫面連結網址：

<http://bit.ly/2PBOGug>，或掃描 Qrcode(圖 4)連結影片。



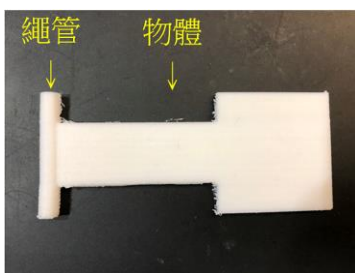
(圖 3 自製啄木鳥玩具)



(圖 4 自製啄木鳥玩具移動畫面連結)

## 三、3D 列印模型

透過 3D 繪圖列印模型，以進行實驗研究。模型結構包括「繩管」與「物體」(圖 5)，將繩管穿過橡皮筋，將橡皮筋拉長後，模型就會上下振動而緩慢向下移動。3D 列印模型移動畫面連結網址：<http://bit.ly/3cr0FFI>，或掃描 Qrcode(圖 6)連結影片。



(圖 5 3D 列印模型結構)



(圖 6 3D 列印模型移動畫面連結)

## 肆、研究設備及器材

一、固定架：上下架子距離固定為 30 公分，可以用長尾夾固定橡皮筋，讓模型在橡皮筋上緩慢下降移動(圖 7)。

二、平板電腦：利用平板電腦的慢動作攝影功能，分析模型下降移動的運動狀態(圖 8)。

三、碼表：觀測模型下降移動的所經過的時間(圖 9)。



(圖 7 固定架)



(圖 8 平板電腦)



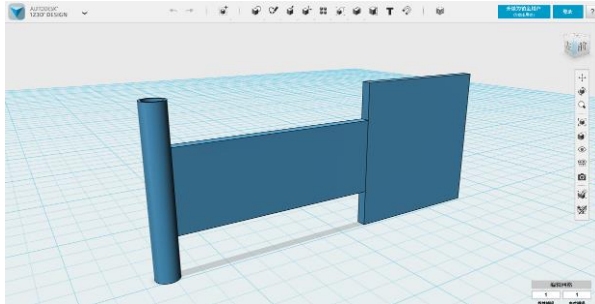
(圖 9 碼表)

四、123D design 軟體繪圖：用來繪製模型的 3D 圖(圖 10)。

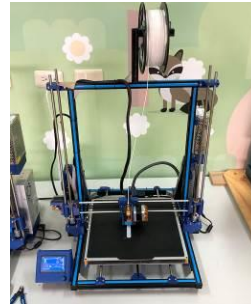
五、cura 切層軟體：Cura-15.04.5，列印材質 PLA，噴嘴設定 200°C、熱床平台設定 60°C。

六、3D 印表機：印製所繪製的模型，噴嘴大小為 0.2mm(圖 11)。

七、高速攝影機：Sony RX100M5 相機的 HFR 高速攝影功能，每秒可以拍攝 960 張(960fps)。



(圖 10 123D design 軟體繪圖)

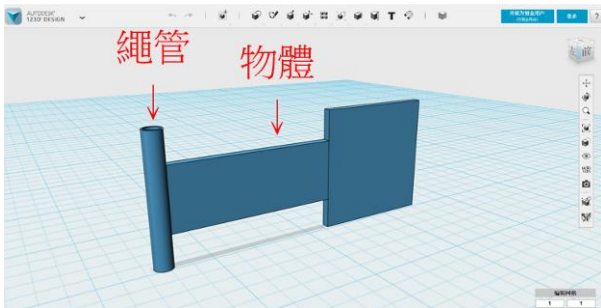


(圖 11 3D 列印機)

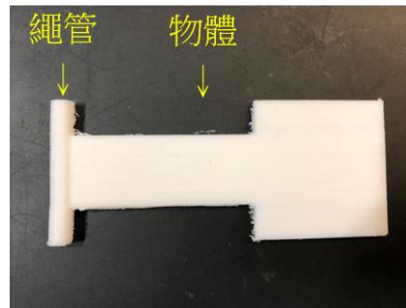
## 伍、研究過程或方法

### 一、3D 繪製列印模型：

利用 123D design 軟體繪製 3D 模型，模型的元件包括「繩管」與「物體」兩個部分(圖 12)，可以分別改變繩管和物體的構造來進行實驗研究，並利用 3D 印表機列印模型(圖 13)，來進行反覆的研究實驗。



(圖 12 3D 繪製模型的結構)



(圖 13 3D 列印模型)

### 二、進行反覆測試實驗

#### (一)量測模型的向下移動時間和上下振動次數

將印製的模型穿過橡皮筋，橡皮筋則夾在固定架上，讓模型在橡皮筋上下振動而緩慢向下移動。實驗標準流程如下：

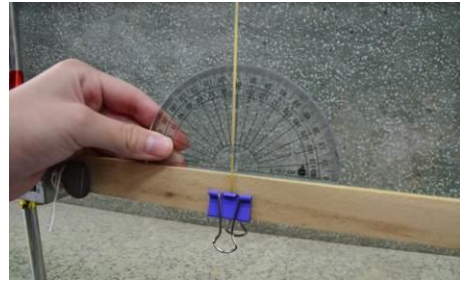
- 1.利用尺規量測橡皮筋的「原始長度」和「拉長後長度」(圖 14)。
- 2.利用量角器確認橡皮筋夾在固定架上的角度為 90 度(圖 15)。
- 3.利用碼表量測模型在橡皮筋上移動所經過的時間(圖 16)。
- 4.利用平板的慢動作攝影功能紀錄模型的向下移動畫面(圖 17)，並觀看影片計算模型的上下振動次數。



5.實驗過程中會定期更換橡皮筋，避免橡皮筋的彈性疲乏影響實驗結果。



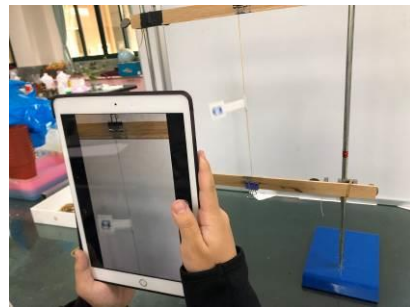
(圖 14 量測橡皮筋長度)



(圖 15 確認橡皮筋角度)



(圖 16 量測模型向下移動時間)



(圖 17 慢動作攝影紀錄畫面)

(二)量測模型的上下振動角度

1.利用高速攝影機拍攝模型向下移動時的上下振動的畫面(圖 18)。

2.將畫面利用影片處理軟體(繪聲繪影)格放，利用量角器測量模型振動的最高與最低角度

(圖 19)，計算模型上下振動的角度差。



(圖 18 高速攝影模型的移動畫面)



(圖 19 量測模型上下振動角度)

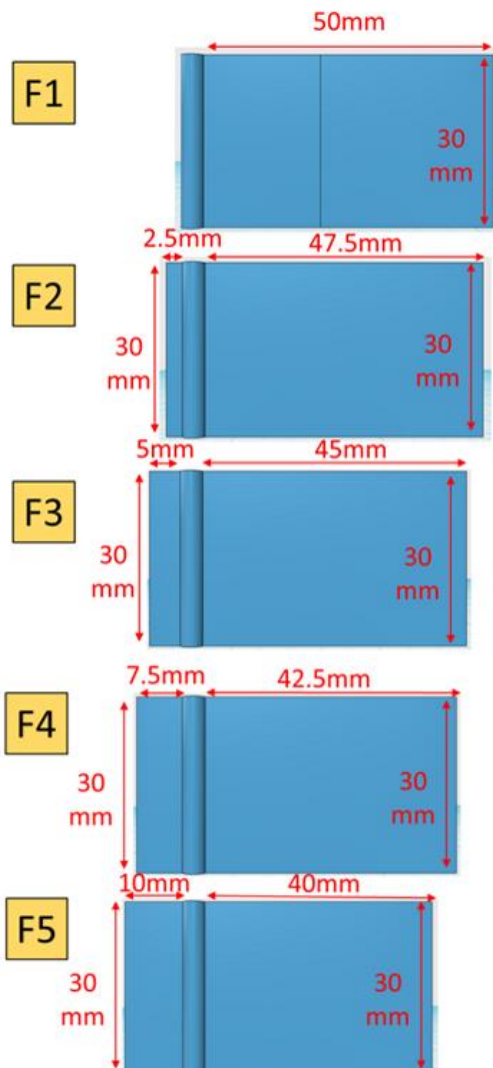
三、樣本設計：

(一)研究一：模型兩側物體的不同重量(表 1、圖 20、圖 21)

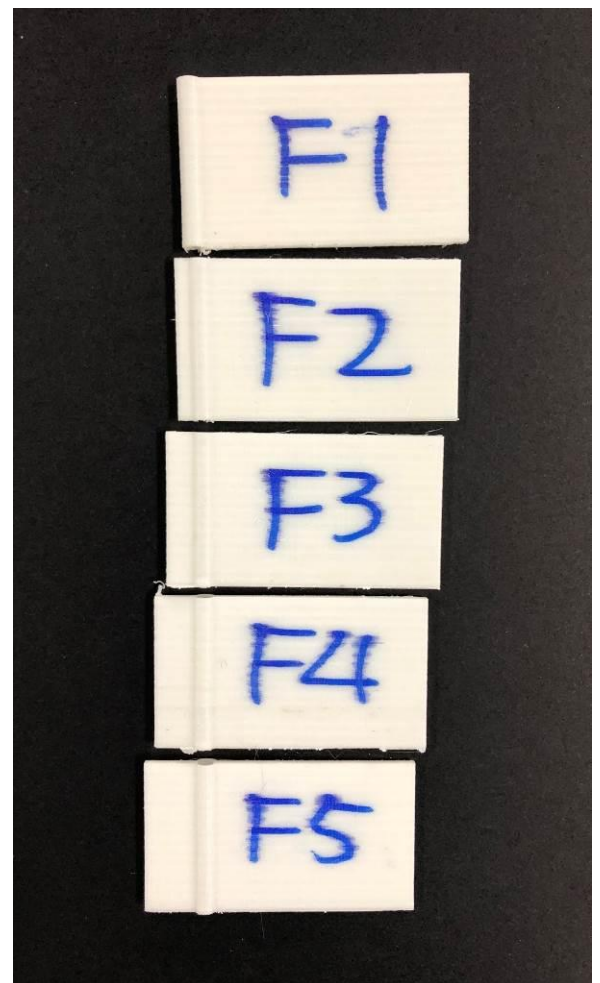
因為 3D 列印的模型密度是均勻的，所以我們用物體的體積來代表物體的重量。

(表 1 模型兩側的不同重量的設計尺寸)

樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	左側物體總面積	左側物體厚度	右側物體總面積	右側物體厚度	模型重量
F1	30mm	3.6mm	0.4mm	0mm <sup>2</sup>	0mm	1500mm <sup>2</sup>	2mm	3.8g
F2	30mm	3.6mm	0.4mm	75 mm <sup>2</sup>	2 mm	1425mm <sup>2</sup>	2mm	3.8g
F3	30mm	3.6mm	0.4mm	150mm <sup>2</sup>	2 mm	1350mm <sup>2</sup>	2mm	3.8g
F4	30mm	3.6mm	0.4mm	225 mm <sup>2</sup>	2 mm	1275mm <sup>2</sup>	2mm	3.8g
F5	30mm	3.6mm	0.4mm	300mm <sup>2</sup>	2 mm	1200mm <sup>2</sup>	2mm	3.8g



(圖 20 不同模型的 3D 設計圖)



(圖 21 不同模型的 3D 列印成品)

(二)研究二：物體的不同重量

1.模型的尺寸：利用物體的厚度差異，改變物體的重量(表 2)

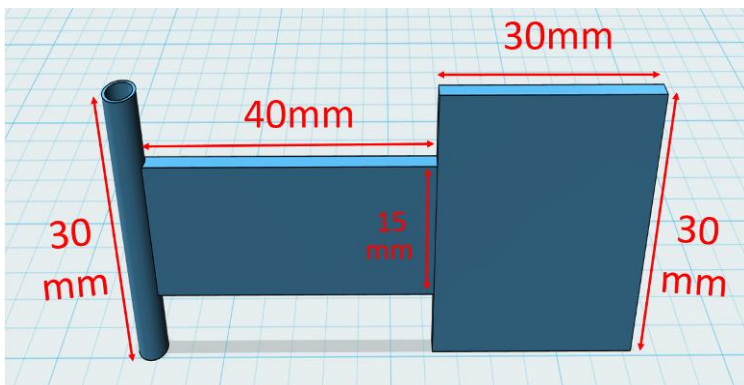
因為 3D 列印的模型密度是均勻的，所以我們用物體的厚度來代表物體的重量。

(表 2 不同模型重量的設計尺寸)

樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	物體總面積	物體厚度	模型重量
B1	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	1mm	2.4g
B2	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	1.5 mm	3.0g
B3	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
B4	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2.5 mm	4.2g
B5	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	3 mm	4.8g
B6	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	3.5mm	5.4g

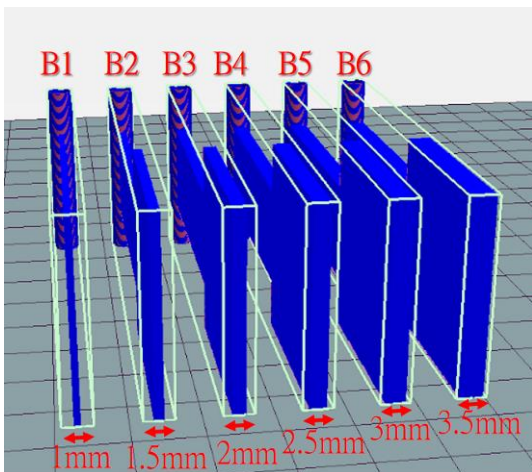
2.模型設計圖(圖 22、圖 23、圖 24)

(1)模型側視圖



(圖 22 模型的 3D 設計尺寸大小)

(2)模型後視圖



(圖 23 不同模型的厚度大小)



(圖 24 不同模型的 3D 列印成品)



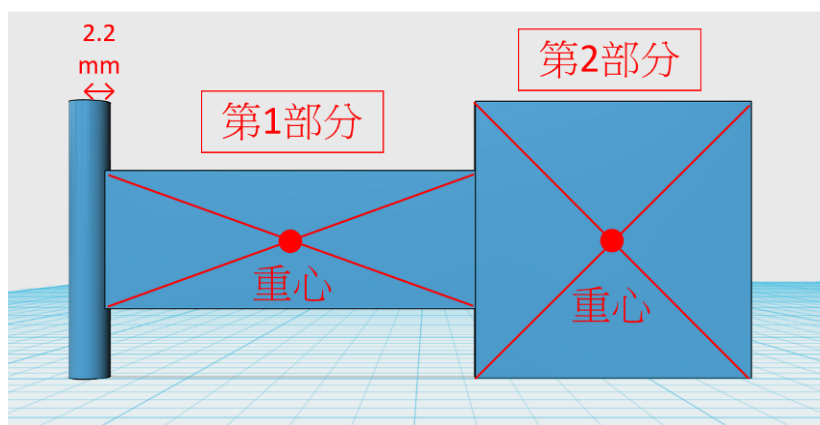
### (三)研究三：物體的不同水平重心位置

#### 1.物體水平重心位置的計算

水平重心計算公式：
$$X_G = \frac{x_1 W_1 + x_2 W_2}{W_1 + W_2} + 2.2\text{mm}$$

其中  $x_1$  為物體第 1 部分的重心位置， $W_1$  為物體第 1 部分的重量， $x_2$  為物體第 2 部分的重心位置， $W_2$  為物體第 2 部分的重量(註 1)。因為我們的設計的物體都是均勻的方體，所以物體的重心就會在物體兩對角線的交點處。另外因為繩管半徑為 2.2mm，所以物體重心距離橡皮筋必須加上 2.2mm(圖 25)。

(註 1：因為我們難以量測各別部分的重量，所以我們用物體的體積來代替物體的質量。因為物體列印的密度固定，所以可以用物體的體積來代替密度)

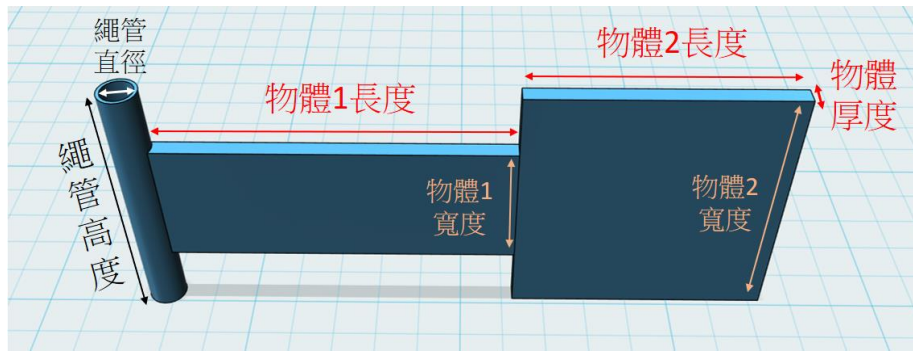


(圖 25 模型的水平重心位置計算)

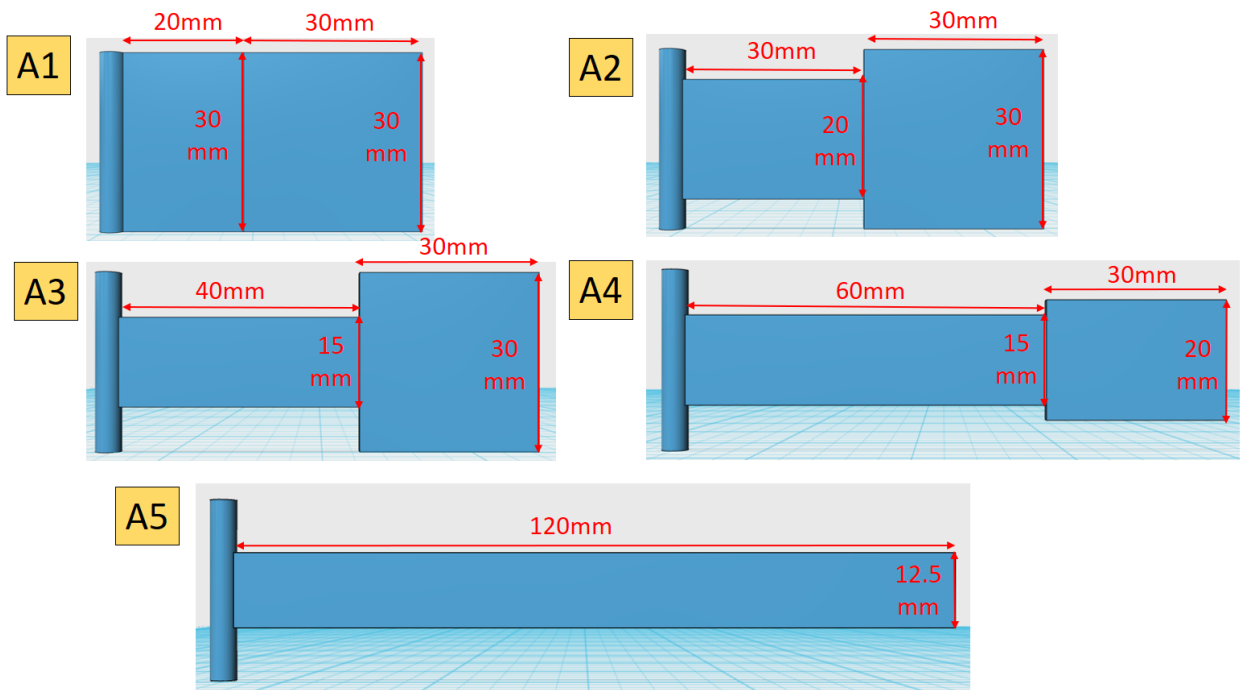
2.模型的尺寸：利用物體的形狀差異，改變物體的水平重心位置(也就是物體重心距離橡皮筋的水平距離)。(如表 3、圖 26、圖 27、圖 28)

(表 3 不同模型水平重心位置的設計尺寸)

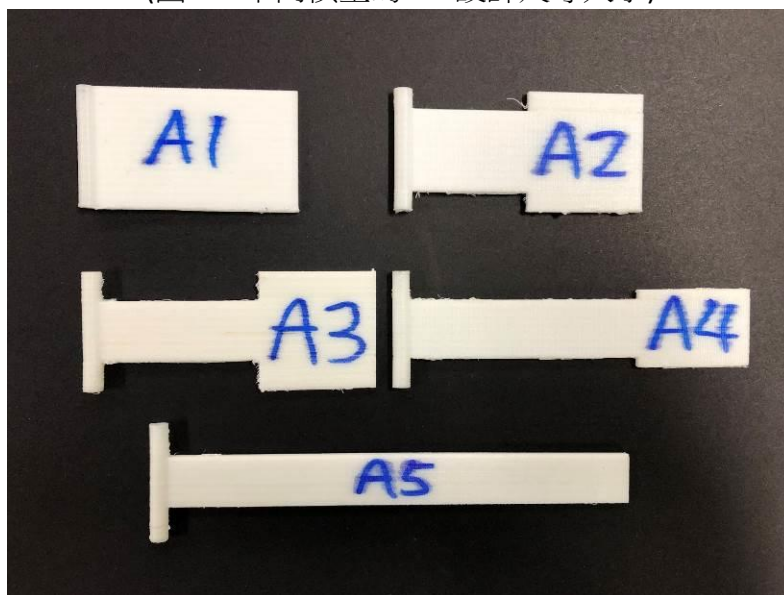
樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	物體 1 長度	物體 1 寬度	物體 2 長度	物體 2 寬度	模型重量	水平重心位置	垂直重心位置
A1	30mm	3.6mm	0.4mm	20mm	30 mm	30mm	30mm	3.7g	27.5mm	0mm
A2	30mm	3.6mm	0.4mm	30mm	20 mm	30mm	30mm	3.7g	35.2 mm	0mm
A3	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	0mm
A4	30mm	3.6mm	0.4mm	60mm	15 mm	30mm	20mm	3.7g	50.2 mm	0mm
A5	30mm	3.6mm	0.4mm	120mm	12.5mm	0mm	0mm	3.7g	62.5 mm	0mm



(圖 26 模型結構名詞對應)



(圖 27 不同模型的 3D 設計尺寸大小)



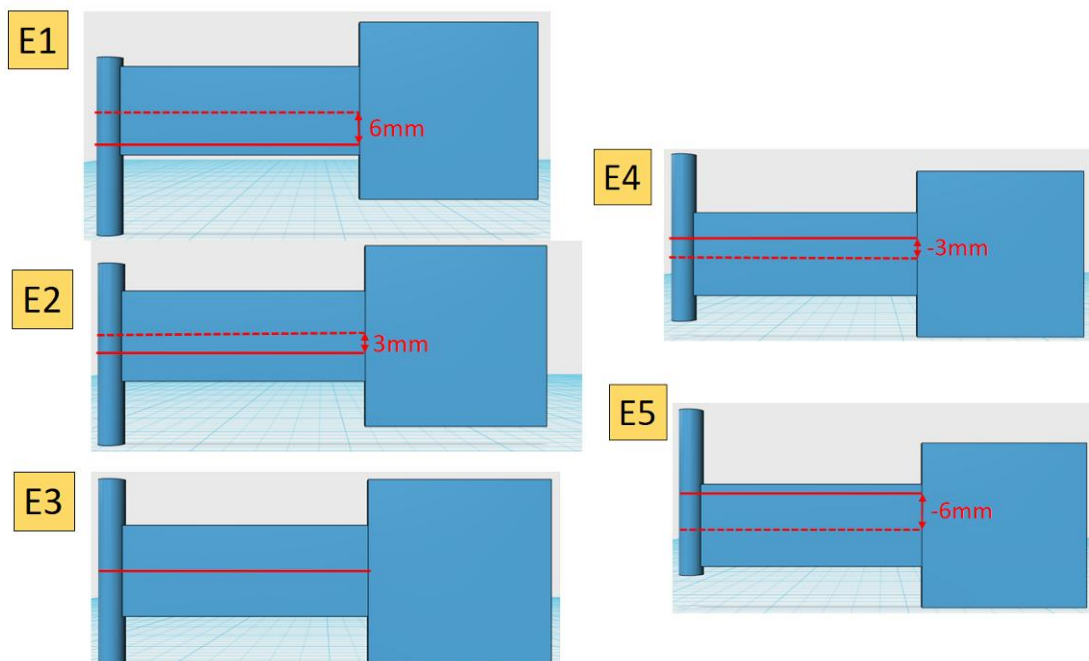
(圖 28 不同模型的 3D 列印成品)

(四)研究四：物體的不同垂直重心位置(表 4、圖 29、圖 30)

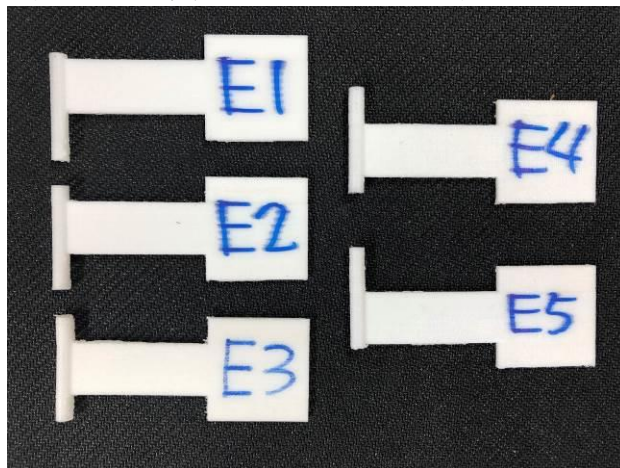
將模型的物體部分垂直往上或往下移動，來調整模型的垂直重心位置。

(表 4 不同模型垂直重心位置的設計尺寸)

樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	物體 1 長度	物體 1 寬度	物體 2 長度	物體 2 寬度	模型重量	水平重心位置	垂直重心位置
E1	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	6mm
E2	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	3mm
E3	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	0mm
E4	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	-3mm
E5	30mm	3.6mm	0.4mm	40mm	15 mm	30mm	30mm	3.7g	43.2 mm	-6mm



(圖 29 不同模型的 3D 設計圖，圖中實線為繩管垂直中心位置，虛線為物體垂直重心位置)



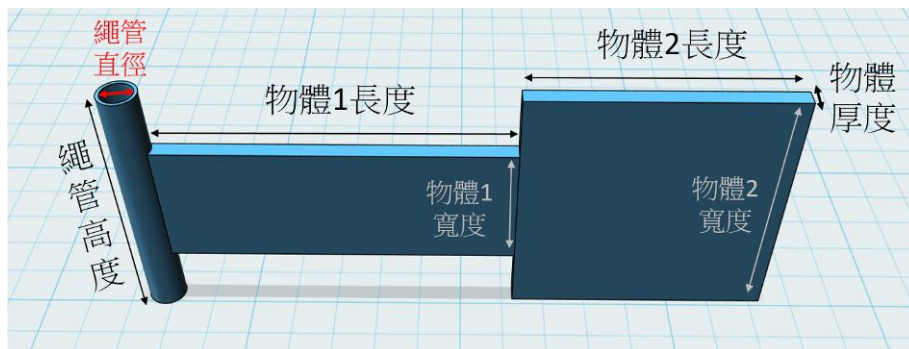
(圖 30 不同模型的 3D 列印成品)

(五)研究五：繩管的不同直徑大小(表 5、圖 31、圖 32、圖 33)

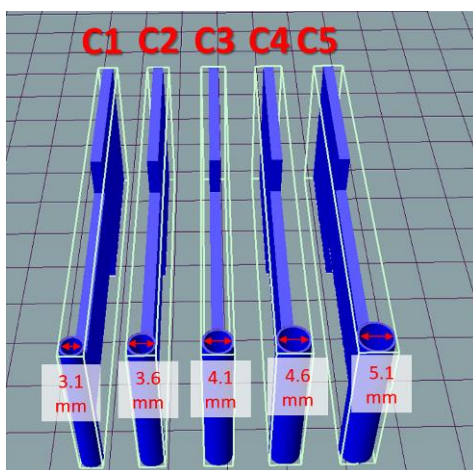
(表 5 不同模型繩管直徑的設計尺寸)

樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	物體總面積	物體厚度	模型重量(註 2)
C1	30mm	3.1mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
C2	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
C3	30mm	4.1mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
C4	30mm	4.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.7g
C5	30mm	5.1mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.7g

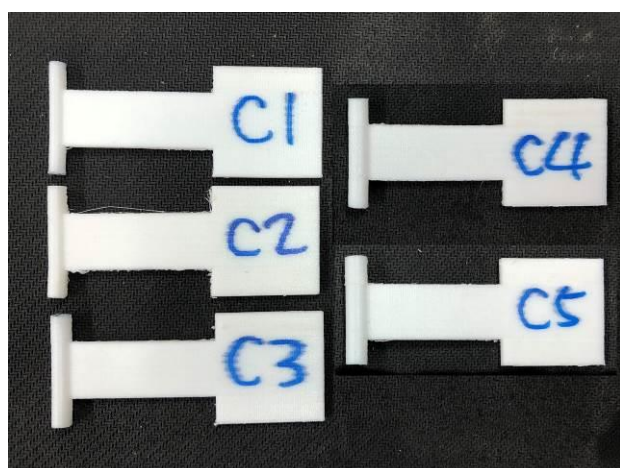
(註 2：繩管直徑會造成繩管重量的改變，但是因為繩管的重心在橡皮筋上，而橡皮筋就是模型上下振動的支點，所以繩管重量產生的力矩幾乎為零，所以所以不同模型的重量差異影響很小，屬於控制變因)



(圖 31 模型結構名詞對應)



(圖 32 不同模型的繩管直徑大小)



(圖 33 不同模型的 3D 列印成品)

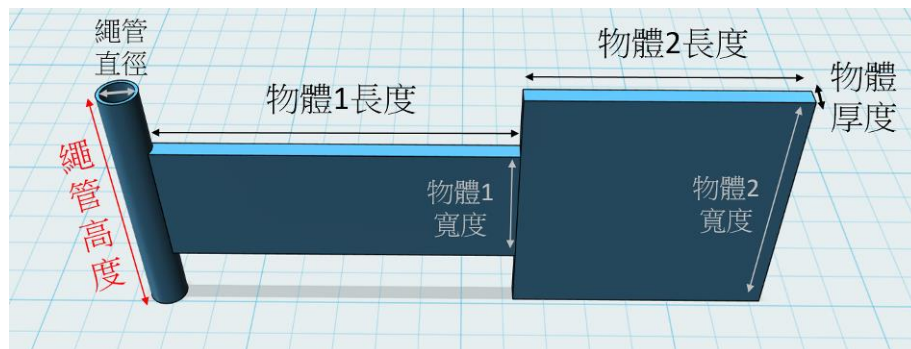


(六)繩管的不同高度：改變繩管的高度大小(表 6、圖 34、圖 35、圖 36)

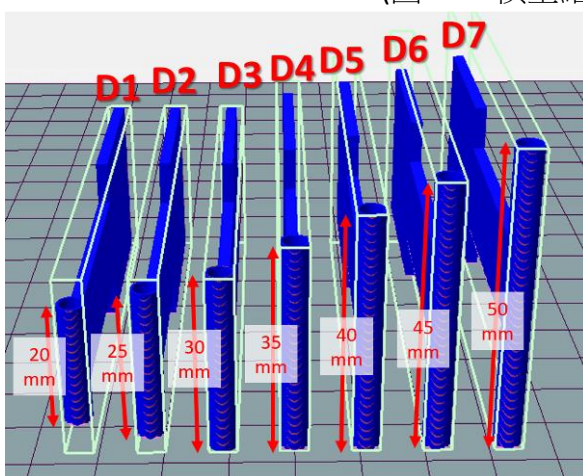
(表 6 不同模型繩管高度的設計尺寸)

樣本編號	繩管高度	繩管直徑	繩管厚度	物體總面積	物體厚度	模型重量(註 3)
D1	20mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
D2	25mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
D3	30mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
D4	35mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.6g
D5	40mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.7g
D6	45mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.7g
D7	50mm	3.6mm	0.4mm	1500mm <sup>2</sup>	2 mm	3.7g

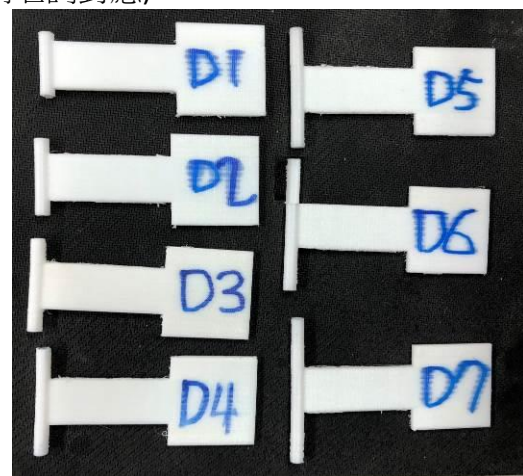
(註 3：繩管高度會造成繩管重量的改變，但是因為繩管的重心在橡皮筋上，而橡皮筋就是模型上下振動的支點，所以繩管重量產生的力矩幾乎為零，所以不同模型的重量差異影響很小，屬於控制變因)



(圖 34 模型結構名詞對應)



(圖 35 不同模型的繩管高度)



(圖 36 不同模型的 3D 列印成品)

(七)橡皮筋鬆緊程度：固定橡皮筋拉長後長度，調整橡皮筋的原始長度，來進一步改變橡皮筋的鬆緊程度(表 7)。

(表 7 不同的橡皮筋的鬆緊程度)

樣本組別	橡皮筋原始長度	橡皮筋拉長後長度	橡皮筋鬆緊程度	模型編號	模型重量
1	14.5 cm	30cm	鬆 ↓ 緊	D4	3.6g
2	13.5 cm	30 cm		D4	3.6g
3	12.5 cm	30 cm		D4	3.6g
4	11.5 cm	30 cm		D4	3.6g
5	10.5 cm	30 cm		D4	3.6g
6	9.5 cm	30 cm		D4	3.6g

因為我們的實驗橡皮筋拉長後的長度都是 30 cm，所以當橡皮筋的原始長度越長，拉長後會比較鬆；當橡皮筋的原始長度越短，拉長後會比較緊。

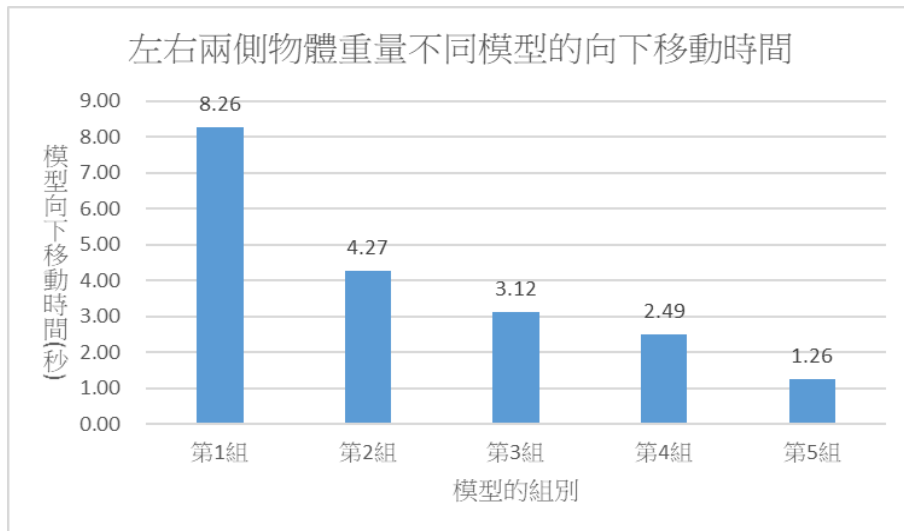
## 陸、研究結果

### 一、研究一：模型兩側重量的影響

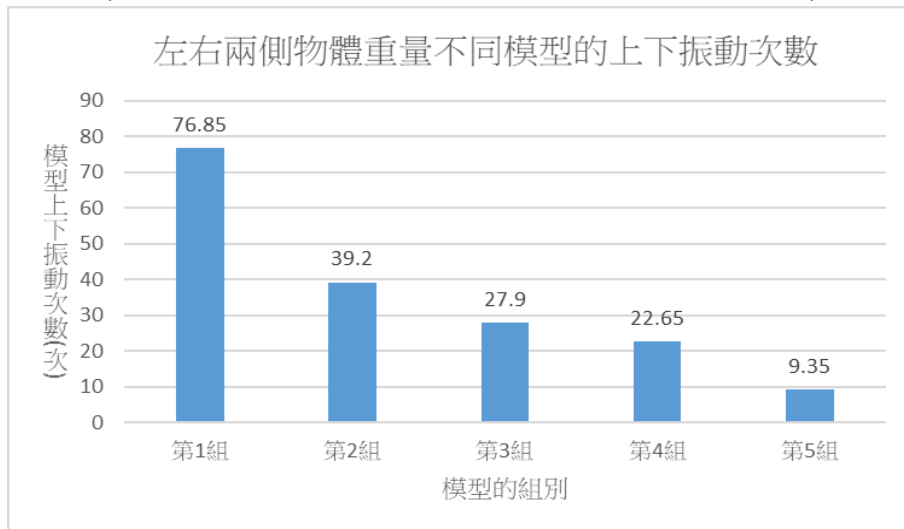
控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的高度、直徑、厚度</li> <li>◆模型的重量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型兩側物體的重量(體積)</li> <li>(第 1 組：左—0mm<sup>3</sup>；右—3000 mm<sup>3</sup>)</li> <li>(第 2 組：左—150mm<sup>3</sup>；右—2850 mm<sup>3</sup>)</li> <li>(第 3 組：左—300mm<sup>3</sup>；右—2700 mm<sup>3</sup>)</li> <li>(第 4 組：左—450mm<sup>3</sup>；右—2550mm<sup>3</sup>)</li> <li>(第 5 組：左—600mm<sup>3</sup>；右—2400 mm<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

改變「模型兩側重量」進行實驗測試，我們發現在不同模型，模型向下移動的時間：

第 1 組 > 第 2 組 > 第 3 組 > 第 4 組 > 第 5 組(圖 37)；模型上下振動的次數：第 1 組 > 第 2 組 > 第 3 組 > 第 4 組 > 第 5 組(圖 38)。



(圖 37 左右兩側物體重量不同模型的向下移動時間)

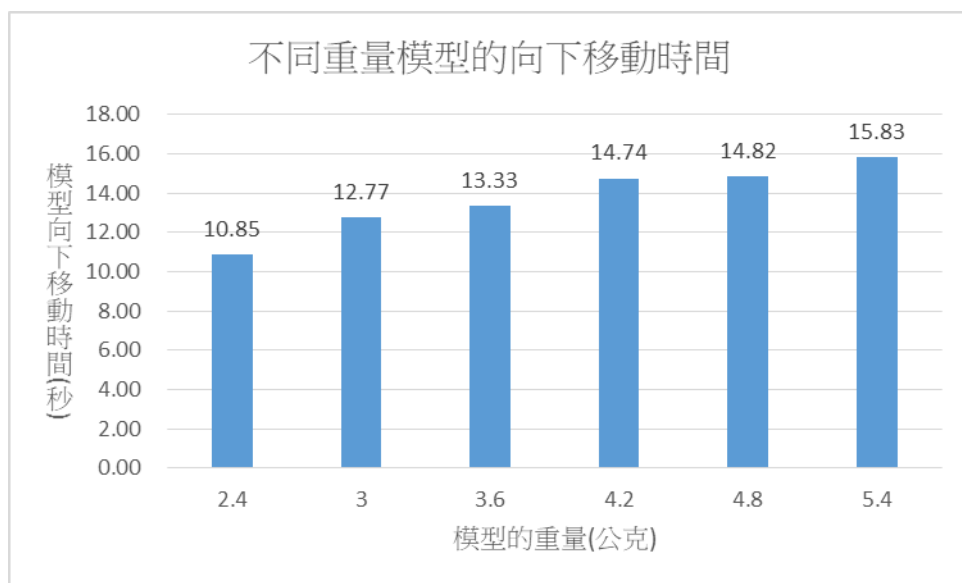


(圖 38 左右兩側物體重量不同模型的上下振動次數)

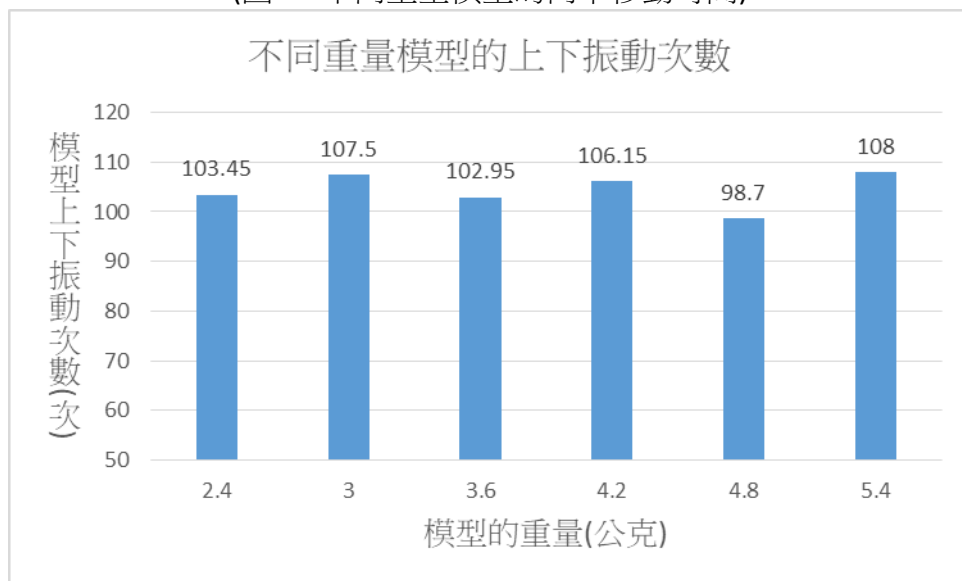
## 二、研究二：物體重量的影響

控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的高度、直徑、厚度</li> <li>◆物體的重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型的重量 (2.4g/3.0g/3.6g/4.2g/4.8g/5.4g)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

改變「模型的重量」進行實驗測試，我們發現在不同模型重量中，模型向下移動的時間： $2.4g > 3.0g > 3.6g > 4.2g > 4.8g > 5.4g$ (圖 39)，但是模型上下振動的次數卻沒有顯著的變化趨勢(圖 40)。



(圖 39 不同重量模型的向下移動時間)



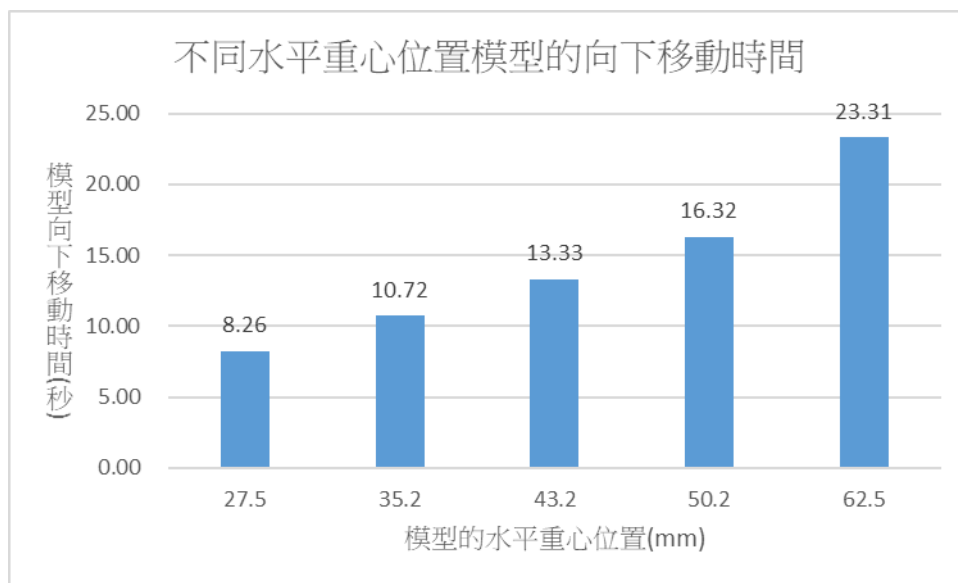
(圖 40 不同重量模型的上下振動次數)



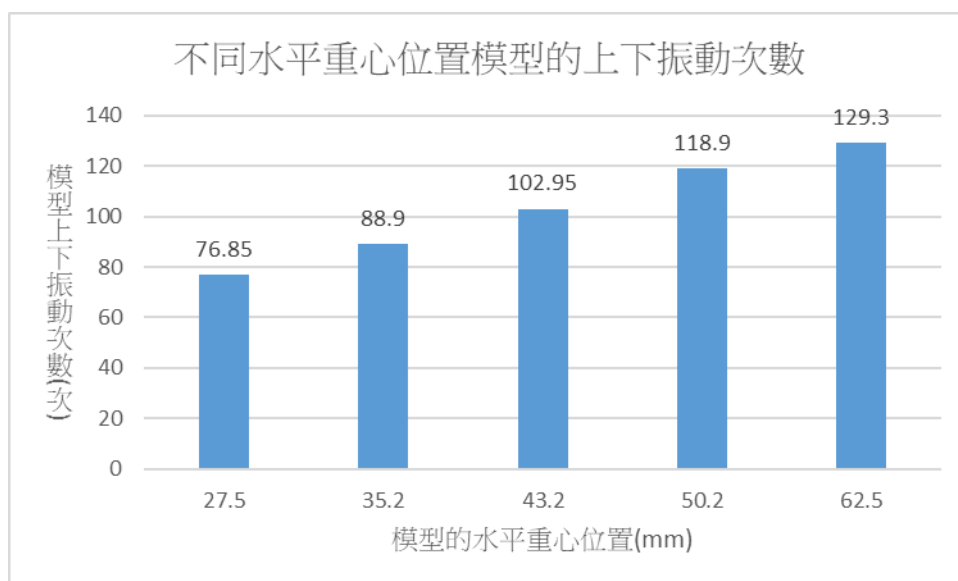
### 三、研究三：物體水平重心位置的影響

控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的高度、直徑、厚度</li> <li>◆物體的重量、垂直重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆物體的水平重心位置 (27.5mm / 35.2mm / 43.2mm / 50.2mm / 62.5mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

改變「物體的水平重心位置」進行實驗測試，我們發現在不同物體的水平重心位置中，模型向下移動的時間：62.5mm > 50.2mm > 43.2mm > 35.2mm > 27.5mm(圖 41)；模型上下振動的次數：62.5mm > 50.2mm > 43.2mm > 35.2mm > 27.5mm(圖 42)。



(圖 41 不同水平重心位置模型的向下移動時間)

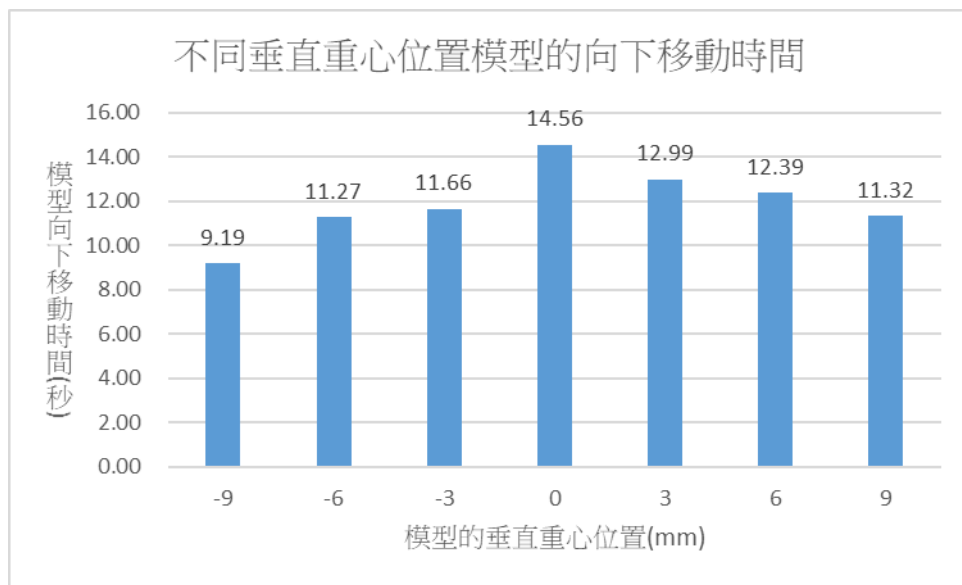


(圖 42 不同水平重心位置模型的上下振動次數)

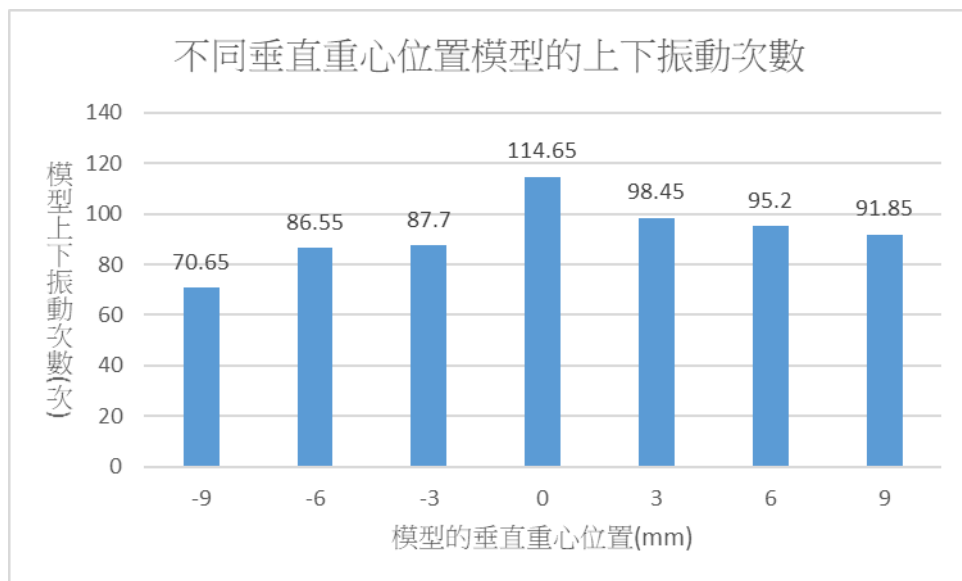
四、研究四：物體垂直重心位置的影響

控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的高度、直徑、厚度</li> <li>◆物體的重量、水平重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆物體的垂直重心位置 (9mm/6mm/3mm/0mm -3mm/-6mm/-9mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

改變「物體的垂直重心位置」進行實驗測試，我們發現在不同物體的垂直重心位置中，模型垂直重心位置在 0mm 的向下移動時間最長、模型上下振動最多；模型垂直重心位置離中央位置越遠，則向下移動時間越短、模型上下振動越少(圖 43、圖 44)。



(圖 43 不同水平重心位置模型的向下移動時間)

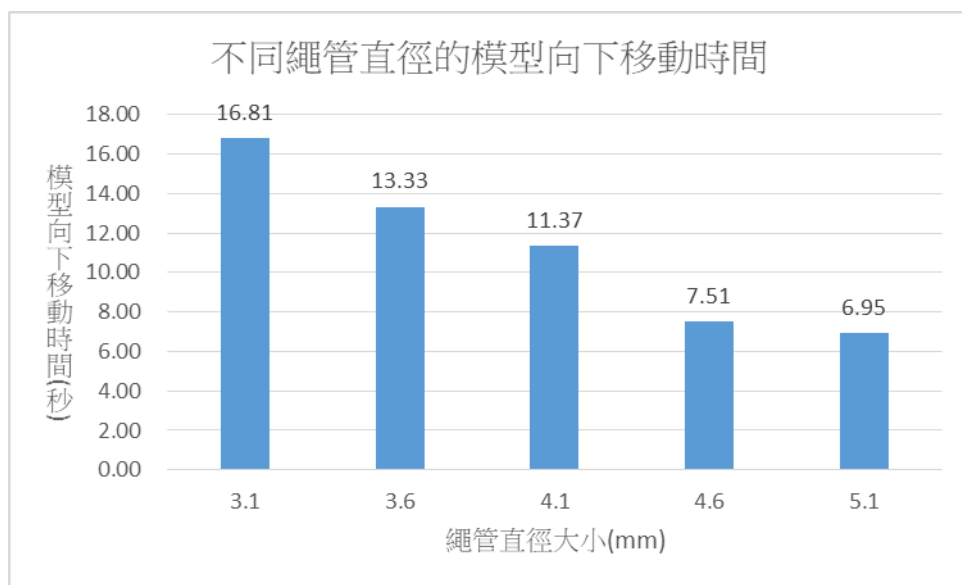


(圖 44 不同水平重心位置模型的上下振動次數)

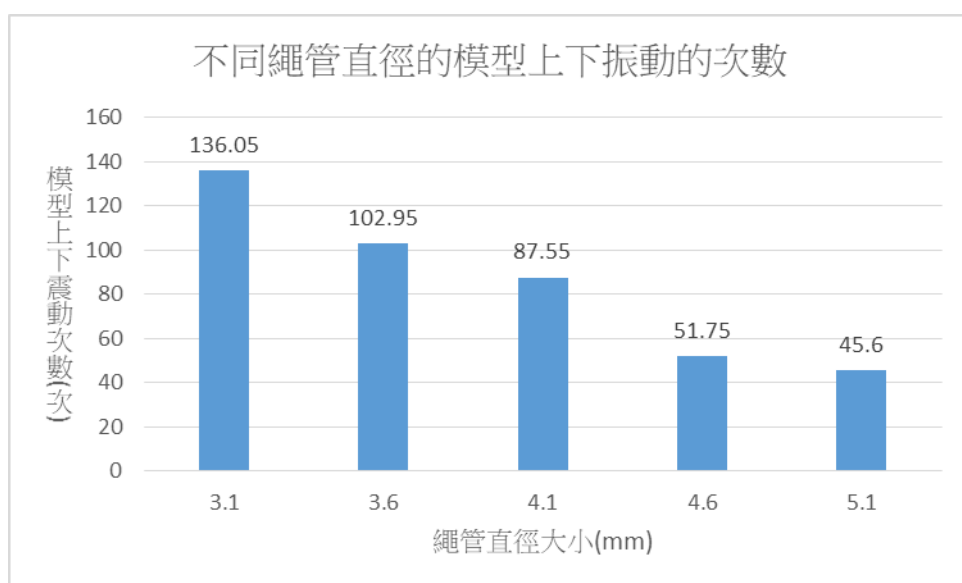
## 五、研究五：繩管直徑的影響

控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的高度、厚度</li> <li>◆物體的重量、重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆繩管的直徑大小 (3.1mm / 3.6mm / 4.1mm 4.6mm / 5.1mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

改變「繩管的直徑大小」進行實驗測試，我們發現在不同繩管直徑大小中，模型向下移動的時間： $3.1\text{mm} > 3.6\text{mm} > 4.1\text{mm} > 4.6\text{mm} > 5.1\text{mm}$ (圖 45)；模型上下振動的次數： $3.1\text{mm} > 3.6\text{mm} > 4.1\text{mm} > 4.6\text{mm} > 5.1\text{mm}$ (圖 46)。



(圖 45 不同繩管直徑的模型向下移動時間)



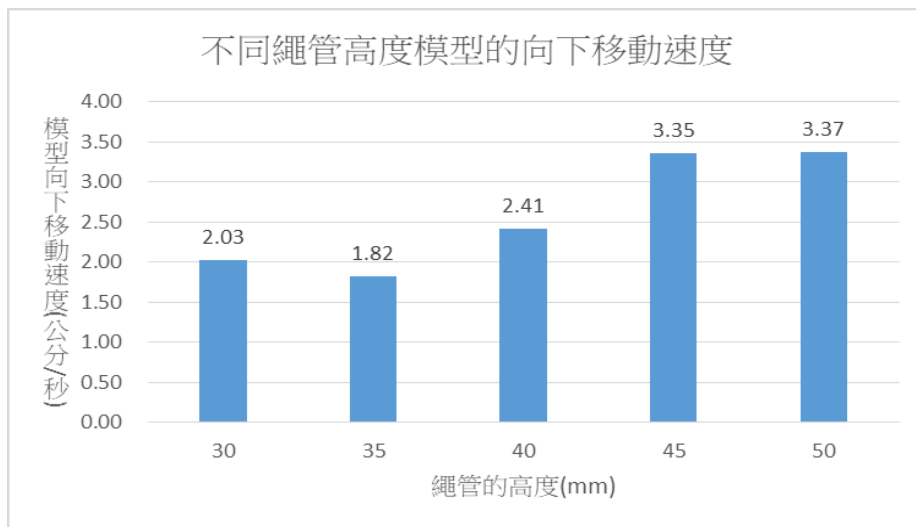
(圖 46 不同繩管直徑的模型上下振動的次數)

六、研究六：繩管高度的影響

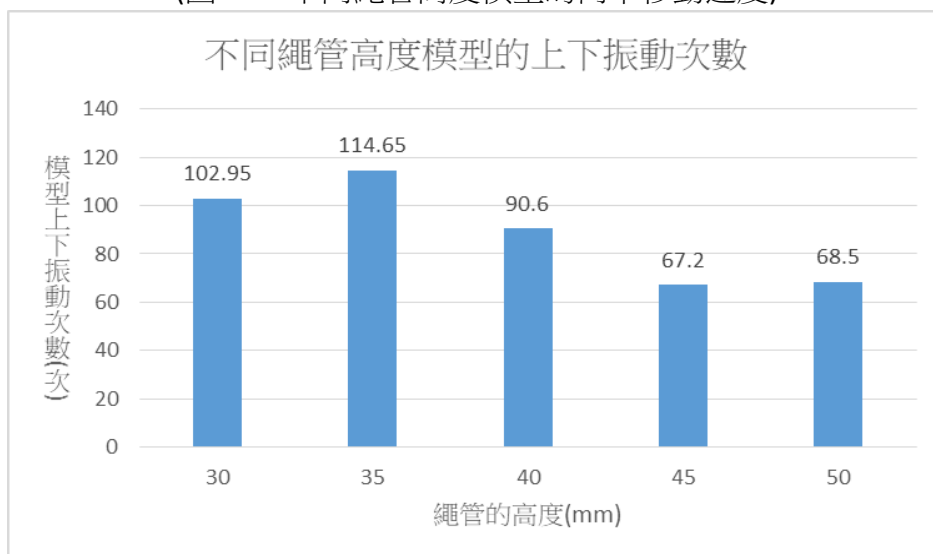
控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋的鬆緊和固定的角度</li> <li>◆繩管的直徑、厚度</li> <li>◆物體的重量、重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆繩管的高度 (30mm / 35mm / 40mm / 45 mm / 50mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的速度(註 4)</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

(註 4：因為繩管高度的影響，導致在固定 30 公分的橡皮筋長度，模型的移動距離會有不同，因此改為扣除繩管高度後，來比較模型的移動速度)

改變「繩管的高度」進行實驗測試，我們發現繩管在高度 20mm 和 25mm 的模型，兩者移動到一段距離後就會卡住，無法繼續向下移動。而模型向下移動的速度：35mm < 30mm < 40mm < 45mm < 50mm(圖 47)；模型上下振動的次數：35mm > 30mm > 40mm > 50mm < 45mm(圖 48)。



(圖 47 不同繩管高度模型的向下移動速度)



(圖 48 不同繩管高度模型的上下振動次數)

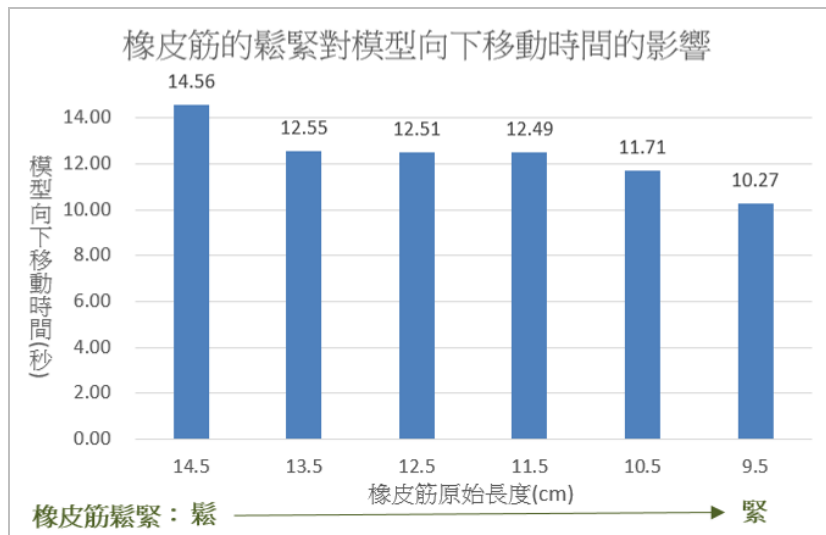


七、研究七：橡皮筋鬆緊的影響

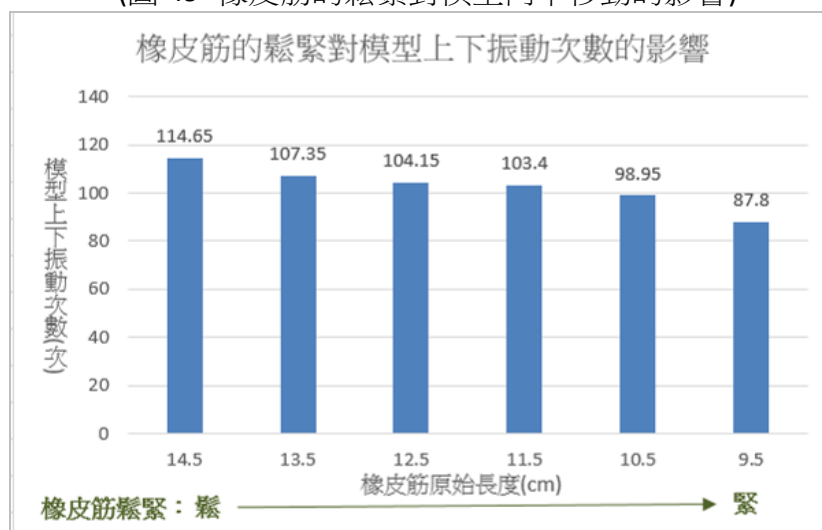
控制變因	操縱變因	應變變因
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動距離</li> <li>◆橡皮筋固定的角度</li> <li>◆繩管的直徑、高度、厚度</li> <li>◆物體的重量、重心位置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆橡皮筋的鬆緊(註 5)</li> </ul> (橡皮筋原始長度： 14.5cm/13.5cm/12.5cm /11.5cm/10.5cm/9.5cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆模型向下移動的時間</li> <li>◆模型上下振動的次數</li> </ul>

(註 5：因為固定橡皮筋拉長的長度為 30 公分，所以當橡皮筋原始長度越長，則橡皮筋鬆緊度越鬆；當橡皮筋原始長度越短，則橡皮筋鬆緊度越緊)

改變「橡皮筋的原始長度」進行實驗測試，我們發現在不同的橡皮筋原始長度中，模型向下移動的時間：14.5cm > 13.5cm > 12.5cm > 11.5cm > 10.5cm > 9.5cm(圖 49)；模型上下振動的次數：14.5cm > 13.5cm > 12.5cm > 11.5cm > 10.5cm > 9.5cm(圖 50)。



(圖 49 橡皮筋的鬆緊對模型向下移動的影響)



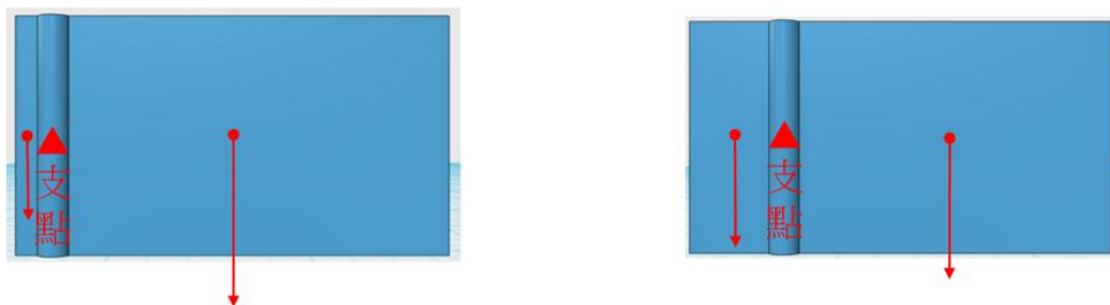
(圖 50 橡皮筋的鬆緊對模型上下振動的次數的影響)

## 柒、討論

### 一、「模型兩側重量」對模型下降移動的影響：

經過實驗的分析發現，模型左、右兩側重量差異愈大，則模型在向下移動的過程當中，上下振動的次數就越多，移動的速度也越慢。這是因為模型以繩管為支點，當繩管兩側的重量差異越大，產生的合力矩就越大(圖 51)，模型上下振動次數就會越多；當繩管兩側的重量差異越小，產生的合力矩就越小(圖 52)，模型上下振動次數就會越少。而當模型上下振動次數較多，較會受到橡皮筋的摩擦阻力影響，使得向下移動的時間拉長；當模型上下振動次數較少，就比較不會卡在橡皮筋上，甚至模型會較大幅度的向下降落，使得向下移動的時間縮短許多。

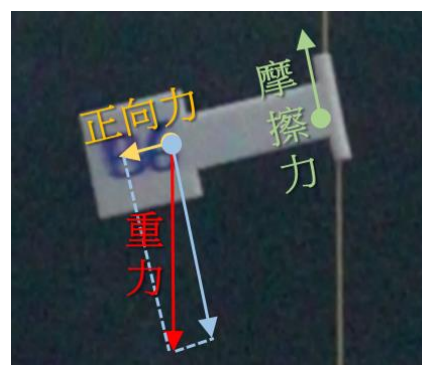
所以模型兩側重量差異是模型上下振動的關鍵，因此後面的實驗模型都設計為單側有物體，讓兩側重量差異最大，模型向下移動的時間最慢。



(圖 51 兩側重量差異大，產生轉動合力矩較大)(圖 52 兩側重量差異小，產生轉動合力矩較小)

### 二、物體的「重量」對模型下降移動的影響：

經過實驗的分析發現，不同重量的模型，上下振動的次數沒有顯著的變化趨勢，但是模型重量越重，向下移動的速度就越慢；模型重量越輕，向下移動的速度就越快。推測這是因為當模型的重量越重，給橡皮筋的正向力就越大，所以橡皮筋給模型的摩擦力就越大(圖 53)，讓模型卡在橡皮筋上的時間拉長，所以橡皮筋向下移動的速度就越慢。

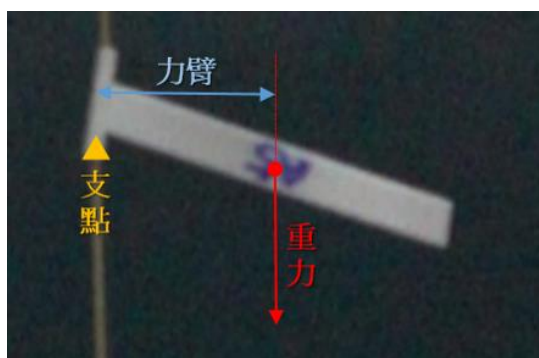


(圖 53 模型摩擦力的分析)

### 三、物體水平重心位置的影響：

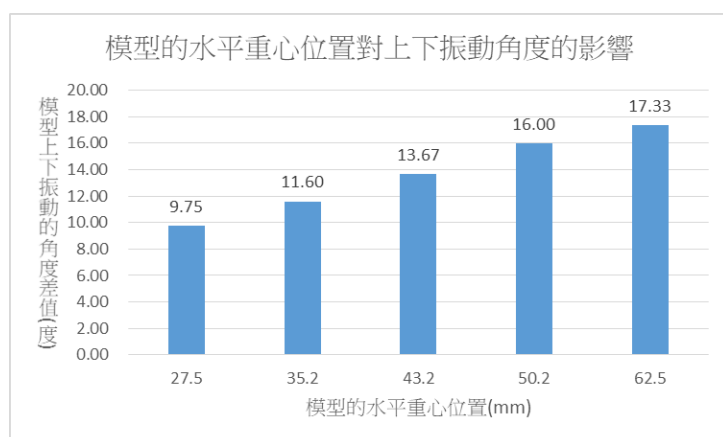
經過實驗的分析發現，當模型的水平重心位置越外側，上下振動次數就越多，模型向下

移動的時間就越久。這是因為模型的上下振動以橡皮筋(繩管最下方位置)當支點，當水平重心位置越外側，物體重力的力臂就越大(圖 54)，產生的力矩就越大，使得模型上下振動的力道越大，上下振動次數就越多，模型向下移動的時間就越久。

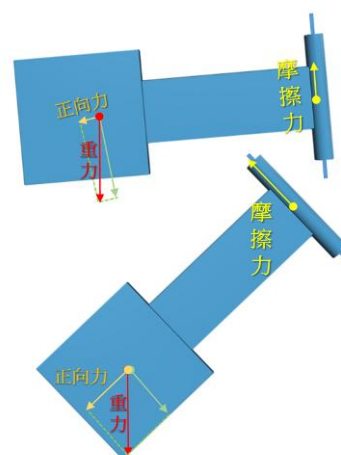


(圖 54 模型水平重心位置對應的力臂)

進一步利用高速攝影機分析不同水平重心位置模型的上下振動角度大小，我們發現當水平重心位置越外側，模型上下振動的角度也越大(圖 55)，則重力給予的橡皮筋垂直方向分力(正向力)也就越大(圖 56)，所以橡皮筋產生的摩擦力也會越大，讓模型的移動變慢。



(圖 55 模型的垂直重心對振動的影響)



(圖 56 模型的振動角度對摩擦力的影響)

#### 四、物體垂直重心位置的影響：

經過實驗的分析發現，當物體垂直重心位置在繩管中央處，模型向下移動的速度最慢，上下振動次數也最多，當物體垂直重心位置在上方或是在下方，模型向下移動的速度都會變快，上下振動次數也變少。

我們在高速攝影畫面裡面也發現，垂直重心位置離中心位置越遠，模型上下振動狀態會比較不穩定，模型會常常突然向下滑落一段距離，使模型向下移動時間變短。

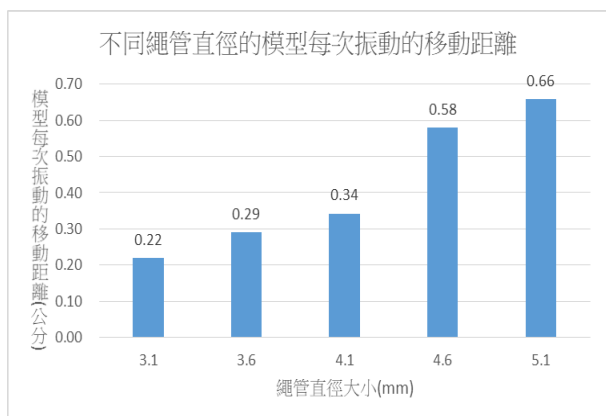
#### 五、「繩管直徑」對模型下降移動的影響：

經過實驗的分析發現，當繩管的直徑越大，模型向下移動的速度就會越快，上下振動的

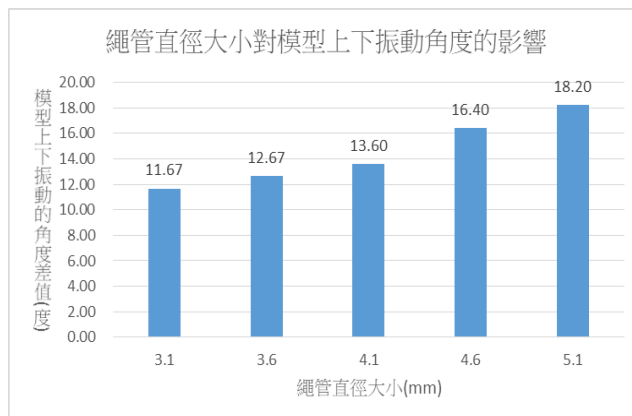
次數也會越少，每次振動的向下移動距離(註 6)也較大(圖 57)。利用高速攝影機分析不同繩管直徑模型的上下振動角度大小，我們也發現繩管的直徑越大，振動的角度也越大(圖 58)。

我們認為當繩管的直徑越大，讓模型產生較大的振動空間，雖然造成較大的振動角度，但是相對也讓繩管騰空垂直下降的時間比較多，所以每次模型振動向下移動的距離也較大(圖 57)，所以模型的向下移動也變得比較快。

(註 6：每次振動的移動距離 = 模型向下移動總距離 ÷ 模型振動次數)



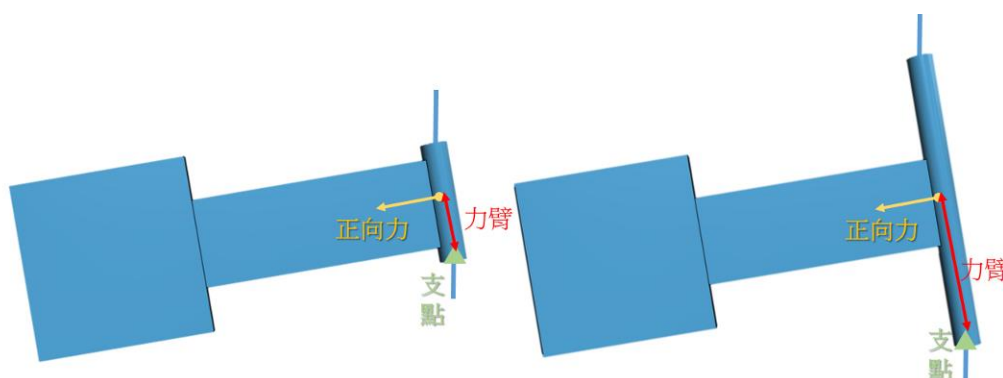
(圖 57 繩管的直徑對振動的移動距離影響)



(圖 58 繩管的直徑對振動角度的影響)

## 六、「繩管高度」對模型下降移動的影響：

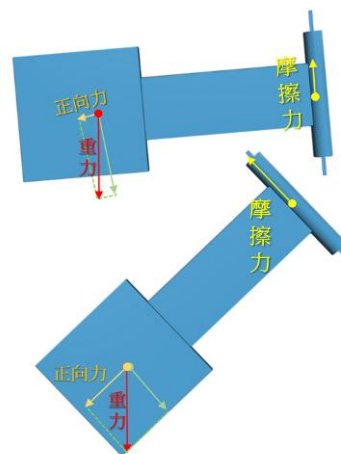
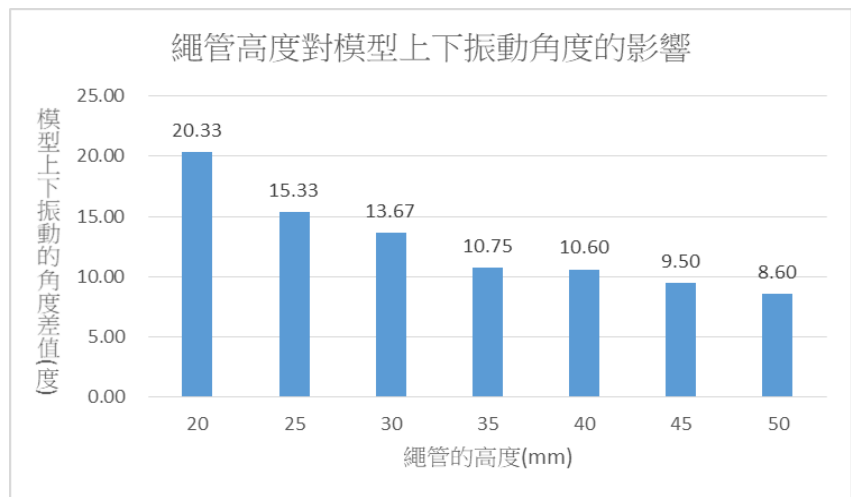
經過實驗發現，繩管高度在 20mm 和 25 mm 的模型，兩者移動到一段距離後就會卡住，無法繼續向下移動。我們覺得這是因為模型振動以繩管最下方位置為支點，當繩管長度越短，模型重量的正向力對應的力臂就越小，給予橡皮筋的力矩就越小(圖 59)，橡皮筋產生的反作用彈力就越小，讓模型無法回彈，於是模型就卡在橡皮筋上不動。



(圖 59 模型繩管長度所對應的力臂大小)

而模型向下移動的速度以繩管高度 35mm 最慢，當繩管高度大於 35mm，繩管越長，

模型向下移動的速度也會變得更快。進一步利用高速攝影機分析不同繩管高度模型的上下振動角度大小，我們發現繩管高度越高，模型振動角度越小(圖 60)，這是因為當繩管高度越大，繩管內的橡皮筋長度就越長，而局限了繩管的振動，於是無法產生太大的振動角度，所以橡皮筋產生的摩擦力就越小(圖 61，模型角度越小，摩擦力越小)，讓模型的向下移動速度變快。



(圖 60 繩管高度對模型上下振動的影響)

(圖 61 模型振動角度對摩擦力影響)

### 七、「橡皮筋鬆緊」對模型下降移動的影響：

經過實驗的分析發現，當橡皮筋較鬆，模型向下移動較慢(上下振動次數也較多)，當橡皮筋較緊，模型向下移動較快(上下振動次數也較少)。我們猜測這是因為當橡皮筋越緊時，橡皮筋給的反彈力道越強，則模型震動的速度會比較快，讓模型和橡皮筋接觸的時間就越少，所以橡皮筋對模型的摩擦力影響越小，所以模型向下移動的速度就越快。



## 捌、結論

### 一、「模型兩側重量」對模型下降移動的影響：

模型兩側重量差異越大，上下振動的次數就越多，移動的速度也越慢。模型兩側重量差異是模型上下振動的關鍵，因此後面的實驗模型都設計為單側有物體，讓兩側重量差異最大。

### 二、物體的「重量」對模型下降移動的影響：

模型物體的重量愈重，振動的角度也越大，模型給橡皮筋的正向力就越大，而橡皮筋給模型產生的摩擦力也就越大，讓模型卡在橡皮筋上的時間拉長，所以橡皮筋向下移動的速度就越慢。

### 三、物體水平重心位置的影響：

模型物體的水平重心位置越外側，物體重力對應的力臂就越大，產生的力矩就越大，使得模型上下振動的力道越大，上下振動次數就越多，振動的角度也越大，模型向下移動的時間就越慢。

### 四、物體垂直重心位置的影響：

物體垂直重心位置在繩管中央處，模型向下移動的速度最慢，上下振動次數也最多，垂直重心位置離中心位置越遠，模型上下振動狀態會比較不穩定，模型會常常突然滑落一段距離，使移動向下移動時間變短。

### 五、「繩管直徑」對模型下降移動的影響：

模型繩管的直徑越大，產生較大的騰空垂直下降空間，所以每次模型振動向下移動的距離也較大，所以模型的移動也較快。

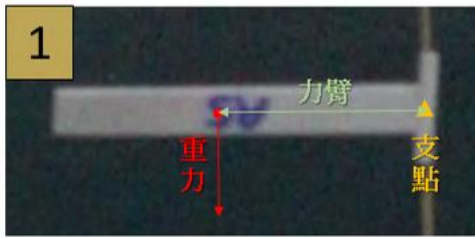
### 六、「繩管高度」對模型下降移動的影響：

模型繩管高度在 20mm 和 25 mm 的模型，因為橡皮筋產生的彈力太小，移動一段距離就會無法回彈而卡在橡皮筋上。模型移動速度以繩管高度 35mm 最慢，當繩管長度加長，模型振動角度會變小，也反而讓模型的向下移動速度變快。

### 七、「橡皮筋鬆緊」對模型下降移動的影響：

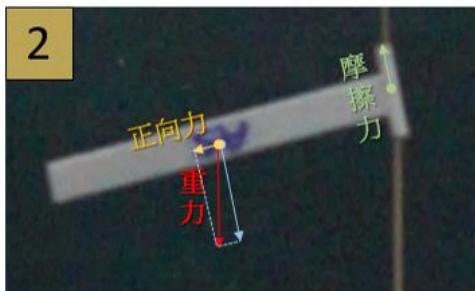
當橡皮筋較鬆，模型向下移動較慢，上下振動次數也較多；當橡皮筋較緊，模型向下移動較快，上下振動次數也較少。

歸納實驗發現結果，我們對啄木鳥模型的上下振動緩慢向下移動的原理推論如下：



物體重量產生力矩，使模型向下振動

- ① 物體兩側重量差異越大，產生合力矩越大，物體振動越明顯，向下移動越慢



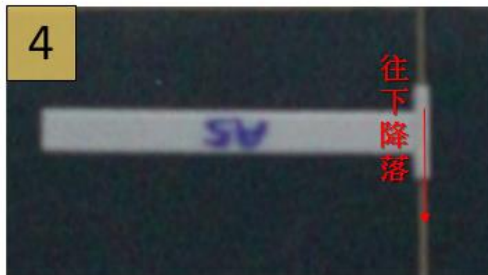
物體重量產生摩擦力，使模型卡在橡皮筋上(向下振動角度越大，摩擦力越大)

- ① 物體重量越重，產生的正向力越大，橡皮筋摩擦力就越大，向下移動就越慢
- ② 物體水平重心越外面，振動角度越大，橡皮筋產生的摩擦力越大，向下移動越慢
- ③ 繩管越長，無法產生太大振動角度，橡皮筋的正向力無法太大，橡皮筋摩擦力就變小，向下移動就越快



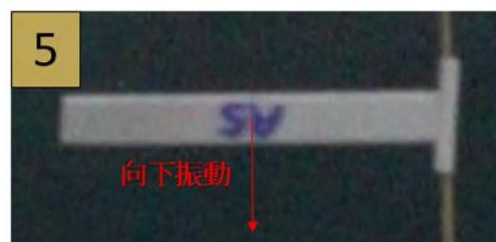
橡皮筋產生彈力，使模型向上振動

- ① 橡皮筋越緊，產生的彈力越大，模型和橡皮筋接觸的時間越短，橡皮筋給的摩擦力就越小。
- ② 繩管太短，物體重量正向力的力矩太小(力臂太小)，橡皮筋無法對應產生較大彈力，使模型卡住不移動。



模型繩管垂直懸空，模型本身的重力，讓模型向下降落

- ① 繩管直徑越大，懸空時間越長，模型重力向下降落的距離就越長，移動的時間就越短
- ② 物體的垂直重心位置越偏離中央，模型上下振動會越不穩定，較常出現突然向下滑落一段距離，使向下移動時間變短。



物體重量產生力矩，使模型再度開始向下振動

## 玖、參考資料及其他

一、陳沛哲、陳韻如、涂喻涵、蔡晉源、許菁芸、侯云婷，啄木鳥跳跳緩降機。中華民國第 46 屆中小學科展覽會作品說明書。

二、啄木鳥玩具。引自

<http://www.wisdom-in-life.com/do-it-yourself/415-2016-12-08-00-13-08.html>

## 嘉義市「啄木鳥玩具」創客設計競賽辦法

**壹. 依據：**嘉義市教育發展綱領-科技相佐之教育願景辦理

**貳. 目的：**

- 一、辦理本市科學教育成果展示，讓市民瞭解科學教育成果。
- 二、提供本市國民中學學生正當休閒及學習活動。
- 三、激發學生創意設計與實作能力，推廣 Maker 的創客精神。

**參. 辦理單位**

主辦單位：嘉義市政府

承辦單位：嘉義市○○國中

**肆. 競賽時間：**○年○月○日現場製作比賽。

**伍. 競賽地點：**

(一) 報到及製作地點：嘉義市○○國中活動中心。

(二) 競賽地點：嘉義市○○國中活動中心。

**陸. 參加活動對象：**本市公私立國中學生

一、報名資格

(一) 本活動參賽資格為本市在學之國中學生，採單人方式競賽，不分年級並由指導老師指導參加。

(二) 所有參賽成員資料一經公佈確定後，比賽前 1 週即不得更改之。

二、報名事宜

(一) 組隊方式：每一隊由 1 名隊員與指導老師 1 名所組成

(二) 報名方式：依競賽報名表核章後免備文送至○○國中設備組報名。

**柒. 競賽方式：**

一、競賽項目：「啄木鳥玩具」向下移動的時間與造型設計

二、評分標準：(一)「啄木鳥玩具」向下移動的時間—

「啄木鳥玩具」在橡皮筋上移動的距離固定為 30cm，模型向下移動所需的時間越長，則競賽成績越高。競賽成績可分為：特優、優等、甲等和佳作。

(二)「啄木鳥玩具」的造型設計—最佳造型設計獎

根據「啄木鳥玩具」外觀造型設計，另外設置最佳造型設計獎。

三.成績公佈：待成績確認後公布於○○國中網站。

**捌.獎項：**所列之獎項，主辦單位保有最後修改及調整之權利

獎項	標準
特優	競賽成績為所有參賽者的前 20%
優等	競賽成績為所有參賽者的前 20%~前 40%
甲等	競賽成績為所有參賽者的前 40%~前 60%
佳作	競賽成績為所有參賽者的前 60%~前 80%
最佳造型設計獎	造型設計成績為所有參賽者的前 20%

### 玖.預期成果

- 一、讓本市國民中學學生有正當休閒及學習活動。
- 二、讓市民瞭解本市國民中學創客科學教育的成果。

## 競賽說明

### 壹、啄木鳥玩具製作：

#### 一、啄木鳥玩具 3D 繪製：

統一於電腦教室進行繪製，繪製時間為 1 小時，於時間內將檔案上傳繳交。

#### 二、啄木鳥玩具 3D 列印：

統一由比賽單位進行印製，擇期讓學生領取列印成品來進行競賽。

#### 三、啄木鳥玩具競賽：

(一)現場領取啄木鳥玩具的列印成品後，提供 30 分鐘進行著色繪圖，並且讓評審就造型設計進行評分。

(二)將啄木鳥玩具放在橡皮筋裡進行比賽，每隊選手皆有 3 次競賽機會，取其最佳成績紀錄，請依大會規定時間內進行 3 次的啄木鳥玩具向下移動。

### 貳、競賽執行細則

1. 競賽當日報到時，為核對身份，請攜帶「學生證」或具有照片之身份證明資料。
2. 進行競賽時，嚴禁指導老師（或家長）進行指導。
3. 每隊選手皆有 3 次比賽機會，取其最佳成績紀錄，請依大會規定時間內進行 3 次的步行下坡。