

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小乙組

作品名稱：

天光乍現，流籠起飛

關 鍵 詞：流籠、光控、快速軸

編 號：

目錄

摘要	01
壹、前言	02
一、研究動機	02
二、研究目的	02
三、文獻回顧與科學原理	02
貳、研究設備及器材	05
參、研究過程與結果	09
一、製作流籠裝置	09
二、不同轉速軸	12
三、同轉速軸	15
四、流籠樣式	19
肆、討論	21
伍、結論	23
陸、參考文獻資料	24
附錄--參與科展心得	25

天光乍現，流籠起飛

摘要

此篇研究在探究流籠運轉的奧妙，我們依據「PowerTech動手做STEAM」的競賽資料製作一台流籠，再依序深入探究齒輪速率、纜線高度角、載重量、車輪摩擦力和車輪大小對流籠運行時間的影響性。當單獨改變其一操縱變因，我們發現在一顆馬達的帶動下，齒輪轉速越快，流籠到達時間越短；快、慢速軸在纜線高度角各大於15、10度，到達時間呈線性增加；流籠總重量超過280公克，到達時間呈線性增加；車輪摩擦力越大，到達時間越長；車輪半徑越大雖可縮短到達時間，但仍需考量流籠總重量及纜線高度角的因素。總而言之，流籠總重越輕，纜線高度角小於10度，車輪半徑小於6公分，流籠有最佳的到達時間。

壹、前言

一、研究動機

近幾年天氣變化異常，每次太平洋有颱風動態或大雨特報，山區的人們就擔心土石流崩山、溪水暴漲、堰塞湖潰堤，若來不及撤離或是在山區旅遊者就須就地避難，接連生活物資也需救援，物資若可運用流籠的方式運送是最節省人力及能源的方式，加上看到 PowerTech 的競賽主題中有物出流籠的比賽項目，因此我們對流籠的運送產生了興趣，想知道改變哪些因素，讓流籠運送物資可以快速且平穩的到達目的地。

二、研究目的

本研究的目的是在探討流籠運作原理及影響它順利到達彼岸之因素，也在探究的過程中，整合變因因素，讓物資可在最短的時間內安全地送達目的地。

- (一) 依2025 PowerTech 青少年科技創作競賽之【物出流籠】項目中的競賽條件，製做可載重的流籠裝置(基本版)，探究不同轉動軸速率對流籠運作的影響。
- (二) 依(一)的流籠設計，探究不同轉速軸下，纜線高度角和載重量對流籠運作的影響。
- (三) 依(一)的流籠設計，探究同轉速軸下，車輪的紋路和車輪的大小對流籠運作的影響。
- (四) 進階版流籠的設計樣式對流籠運作的影響。

三、文獻回顧與科學原理

從國內文獻中，我們彙整了影響流籠運作的科學原理。

(一) 摩擦力

一物體在另一物體的表面上滑動時，存在於兩接觸面間，如圖 1-1，且欲阻止物體互相運動的一種作用力，其方向與相對運動方向相反，稱為摩擦力。可分為靜摩擦力、最大靜摩擦力和動摩擦力三種，三者摩擦力的關係如圖 1-2。

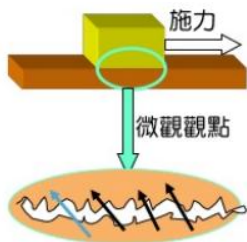


圖 1-1 資料來源：科學的家庭教師網站

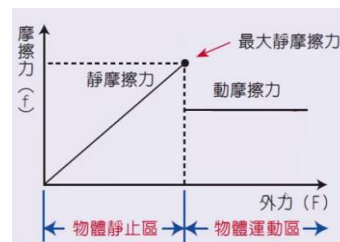


圖 1-2 資料來源：均一教育平台網站

(二) 齒輪

齒輪與其它齒狀機械（例如另一齒輪、鍊條、蝸桿）藉由不同的齒數比與組合方式，可改變轉速、扭矩、運動方向和運動形式等功能，可作為動力輸入與輸出間的橋梁，達到機械傳送動力的目的。

齒輪傳送動力的形式可分為兩種，當相鄰兩齒輪外切時，齒與齒相互扣住，如圖 1-3，由一齒輪轉動來帶動另一個齒輪轉動，其兩齒輪轉動方向相反。若將兩個齒輪分開，應用鍊條、皮帶來帶動兩邊的齒輪，如圖 1-4，其兩齒輪轉動方向相同。小齒輪轉速較快，但扭矩較小；大齒輪轉速較慢，但扭矩較大。透過不同大小齒輪的組合，可以達到省力或費力的效果。

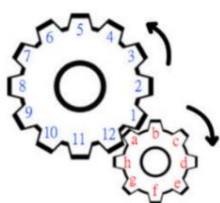


圖 1-3 昌爸工作坊[參考資料 7]

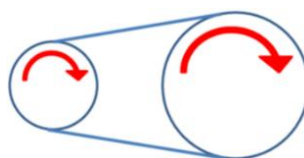


圖 1-4 生活科學補給站[參考資料 6]

(三) 輪軸

由兩個半徑不同的圓輪，固定在同一個軸心上，其中較大半徑者為輪，較小半徑者為軸，兩者固定在一起同步旋轉。當動力作用於大輪時可以省力（以輪帶軸），如圖 1-5，作用於小軸時則費力但省時（以軸帶輪）。

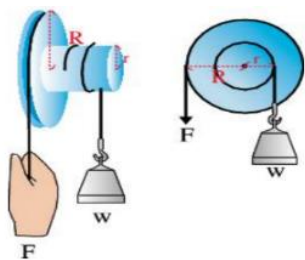


圖 1-5 翰林雲端學院[參考資料 8]

(四) 馬達組

由馬達、蝸桿、齒輪結合，如圖 1-6。

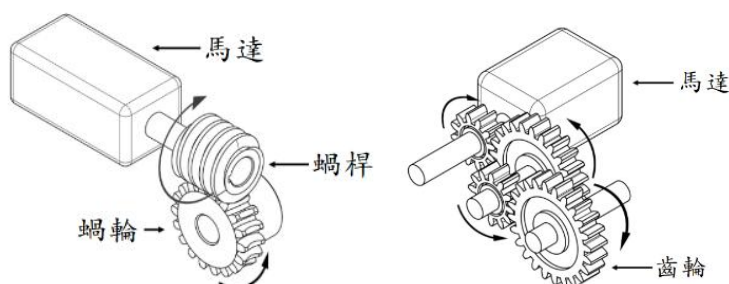


圖 1-6 DAT | 機械組織 Mechanisms [參考資料 5]

馬達組的運轉方式如下：

第一層馬達傳送動力-蝸桿對齒輪。齒輪對齒輪的輪軸關-1 圈(38 齒)：1 圈(12 齒)。

第一、二層齒輪傳送動力-齒輪對齒輪的互扣連結；1 圈(12 齒)：2/7 圈(42 齒)。

第二層齒輪傳送動力-齒輪對齒輪的輪軸關係-2/7 圈(42 齒)：2/7 圈(12 齒)。

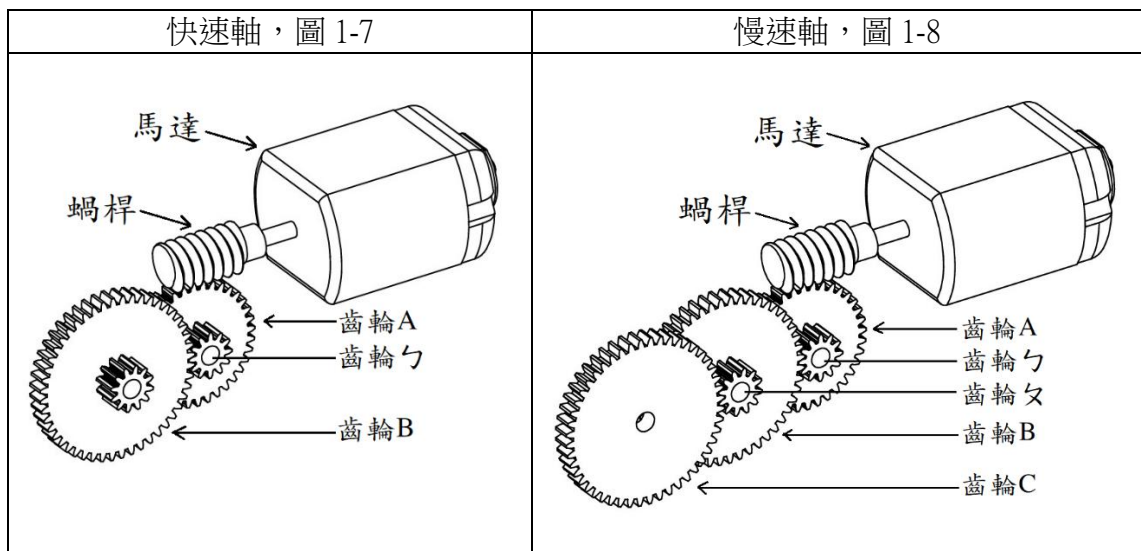
第二、三層齒輪傳送動力-齒輪對齒輪的互扣連結；2/7 圈(12 齒)：4/49 圈(42 齒)。

第三層齒輪傳送動力給車輪-4/49 圈(42 齒)。

1.快速軸：馬達軸心轉動，帶動蝸桿，蝸桿轉動帶動 38 齒的大齒輪 A，大齒輪 A 與 12 齒的小齒輪 ㄣ 是輪軸關係，小齒輪 ㄣ 再與 42 齒的大齒輪 B 互扣，帶動大齒輪 B，大齒輪 B 傳動給車輪，如圖 1-7。

2.慢速軸：馬達軸心轉動，帶動蝸桿，蝸桿轉動帶動 38 齒的大齒輪 A，大齒輪 A 與 12 齒的小齒輪 ㄣ 是輪軸關係，小齒輪 ㄣ 再與 42 齒的大齒輪 B 互扣，帶動大齒輪 B，大齒輪 B 與 12 齒的小齒輪 ㄣ 是輪軸關係，小齒輪 ㄣ 再與 42 齒的大齒輪 C 互扣，帶動大齒輪 C，大齒輪 C 傳動給車輪，如圖 1-8。

3.快速軸與慢速軸的轉動速率比 7:2。



貳、研究設備及器材

一、測量器材：

電子秤（最小單位 0.01 g）、平板（拍照）、皮尺、量角器。

二、製作工具：

熱熔膠槍、手工線鋸、手搖鑽、鑽頭 3 mm、直尺、圓規、尖嘴鉗、斜口鉗、螺絲起子、泡棉膠帶。

三、裝置及實驗器材：

材料	PT 馬達盒	密集板	壓舌板	冰棒棍	螺絲	螺帽	電池組
個數	2	1	10	10	5	5	1
規格		A4、 3mm	1.8cm x 15cm	1cm x 11.4cm	M3 20mm	M3	3 號 4 節

材料	雷切圓板	木圓板	圓軸	軸套	椴木板
個數	2	1	1	2	4
規格	直徑 6cm	直徑 4cm	直徑 2mm 8cm	黃色 2mm	A4、2mm

(一) 製作步驟

1. 馬達組裝：

- (1)組裝固定馬達盒：有分快速和慢速孔位的齒輪定位。
- (2)組裝動力馬達盒：有分快速和慢速孔位的齒輪箱組裝。
- (3)在 11cm x 8cm 木板上鑽 2 個孔。
- (4) 固定馬達盒用螺絲鎖在快速或慢速下方孔位。
- (5) 馬達動力盒墊高貼於木板下方，使兩個馬達盒的轉動軸對齊成一線。

2. 組合車輪：

- (1)內、外圓的曲柄中心位置對齊。
- (2)螺絲鎖在內、外圓的曲柄第二個孔位。
- (3)另一個外圓對齊中心位置後，裝上曲柄，鎖上螺帽。

3. 車體組裝：

- (1)左右轉速軸退出一部分。
- (2)車輪曲柄放置中間。
- (3)轉速軸直接裝入。
- (4)觀察車輪是否歪曲及檢查車輪轉動是否順暢。

4. 馬達動力與光控板連接：

(1)將 3 號 4 節電池盒接線在光控板，光控板與馬達接線。

(2)利用手電筒照射看馬達是否轉動。

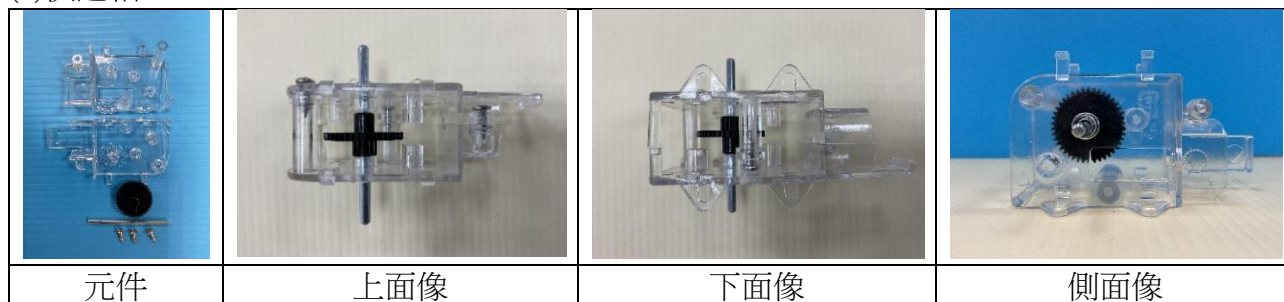
5. 製作載物籃：

(1)用壓舌板及冰棒棍製作長方體的載物籃。

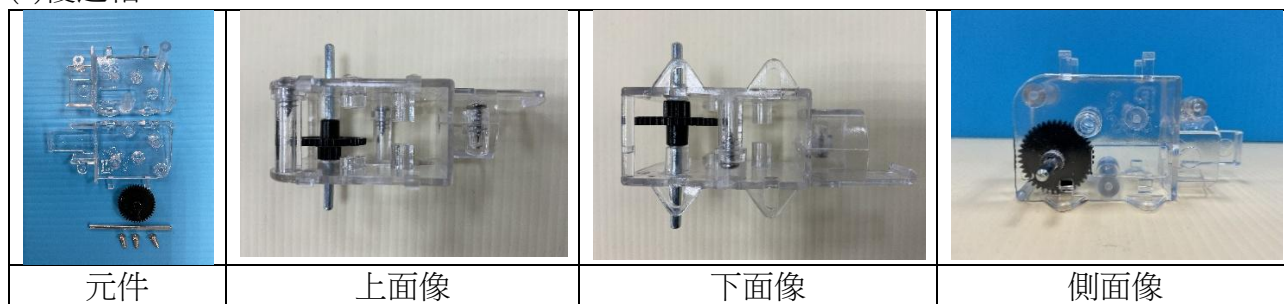
(二) 物出流籠製作過程的圖解說明

1. 固定馬達盒組裝

(1)快速軸

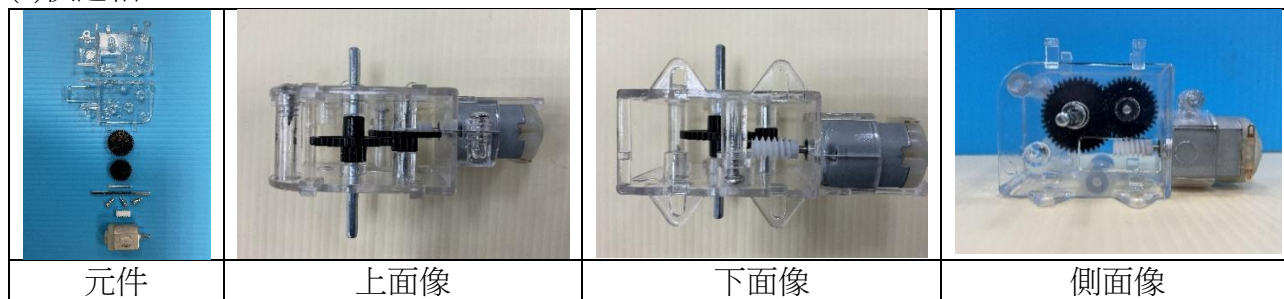


(2)慢速軸

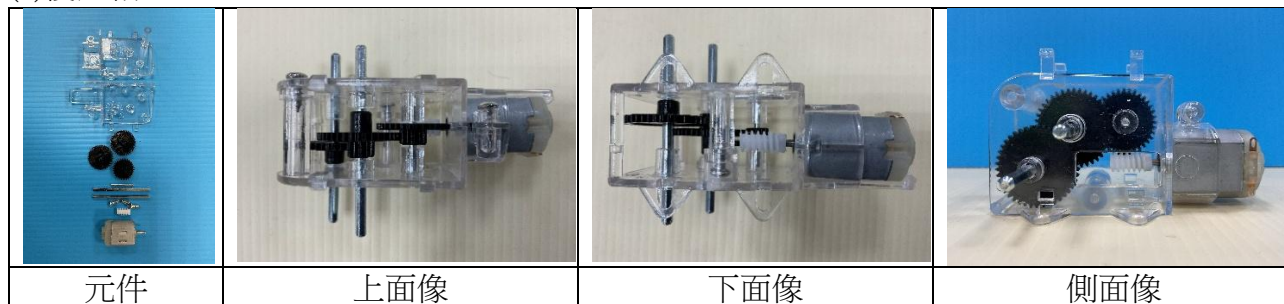


2. 馬達動力盒組裝

(1)快速軸



(2)慢速軸

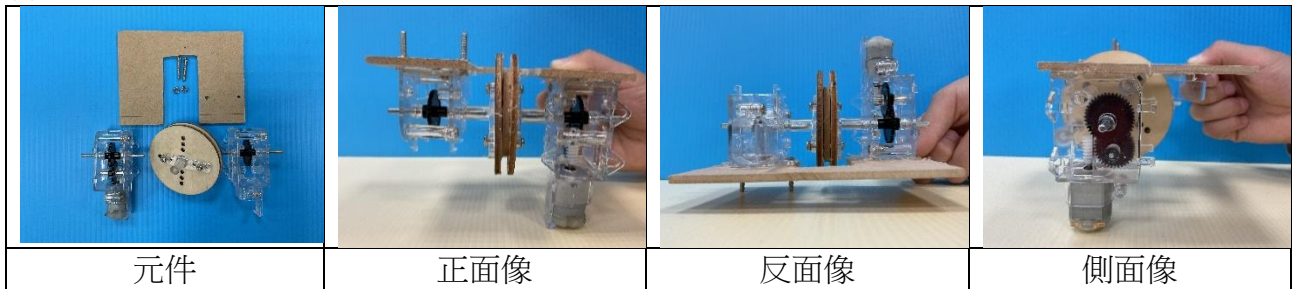


3. 組合車輪組裝

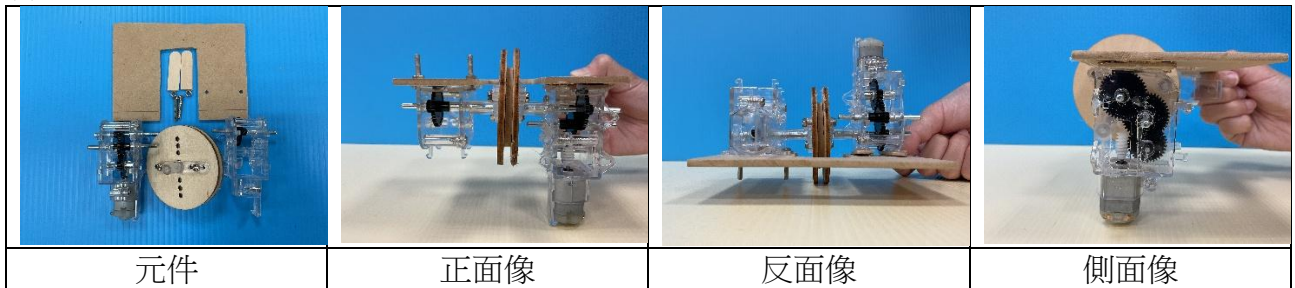


4. 上半部動力組裝

(1)快速軸



(2)慢速軸

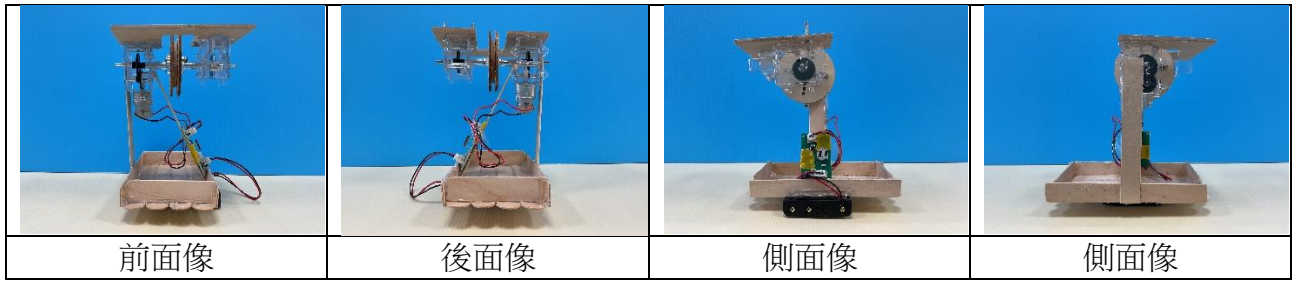


5. 載物籃

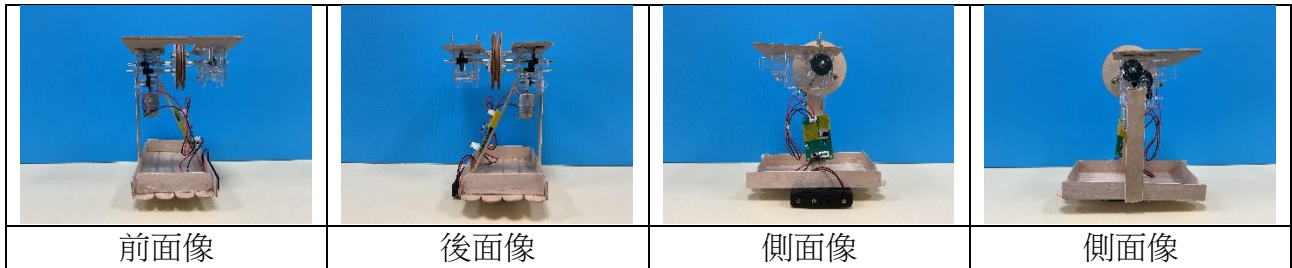


6. 流籠

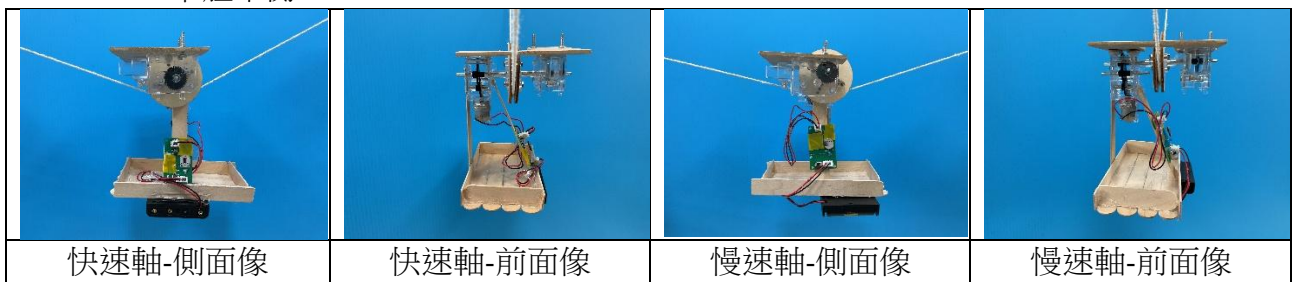
(1)快速軸



(1)慢速軸

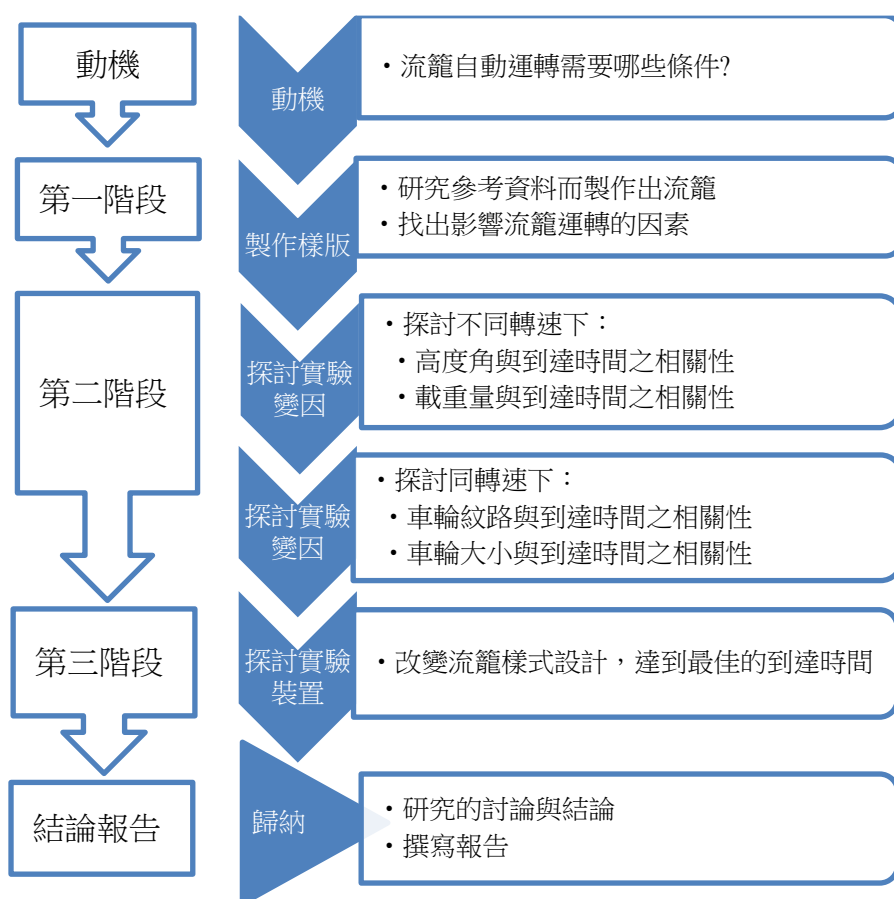


7. 車體平衡



參、研究過程與結果

本研究的目的是在探討影響流籠運轉的因素，研究可分為三階段。第一階段，我們先以參考資料做出可運轉至目的地的流籠，收集所遇到的問題，並予以解決；在第二階段中，我們改變第一階段的實驗變因，探討那些因素的組合可以讓運送時間最短；在第三階段中，以第二階段的實驗資料為基礎，改變流籠樣式的設計，達成讓運送時間可更短的可能性。圖 3-1 為此研究的流程圖。



一、製作流籠裝置

從參考文獻中我們彙集「2025-STEAM 後台」的資訊來製作流籠，並以此為樣版，開創一連串的探究之旅。

可以讓流籠到達目的地是我們的目標，參考文獻[1]所提供的流籠裝置如圖 3-2，我們研究了好久，認為動力馬達盒提供車輪轉動的動力，若將車輪與動力馬達盒的齒輪轉動軸上下排列，則無法輸出動力給車輪，因此改變設計，讓齒輪傳輸的動力軸與與車輪垂直，但動力馬達盒很重，為了讓車輪可以與地面垂直，因此找一個無馬達的齒輪盒(又稱固定馬達盒)來平衡。

動力馬達盒內可選擇快速軸及慢速軸提供動力，其轉速比 7：2(請參考前言章節的科學原理)，車輪外圈的半徑為 3 公分，如圖 3-3，因要配合車輪打洞的位置，且內車輪半徑越大，車輪轉動一圈，流籠移動的距離越遠，不過也要考慮流籠在移動時，會不會因搖擺的振幅太大而讓載重物掉落，綜合這些因素後，內車輪選定半徑 2 公分的圓。為了讓固定馬達盒及動力馬達盒不隨車輪轉動而轉動，因此在兩個馬達盒的上方，鎖上一片「冂」字型的木板加以固定，讓動力由齒輪轉動後，藉由鐵棍傳至車輪。

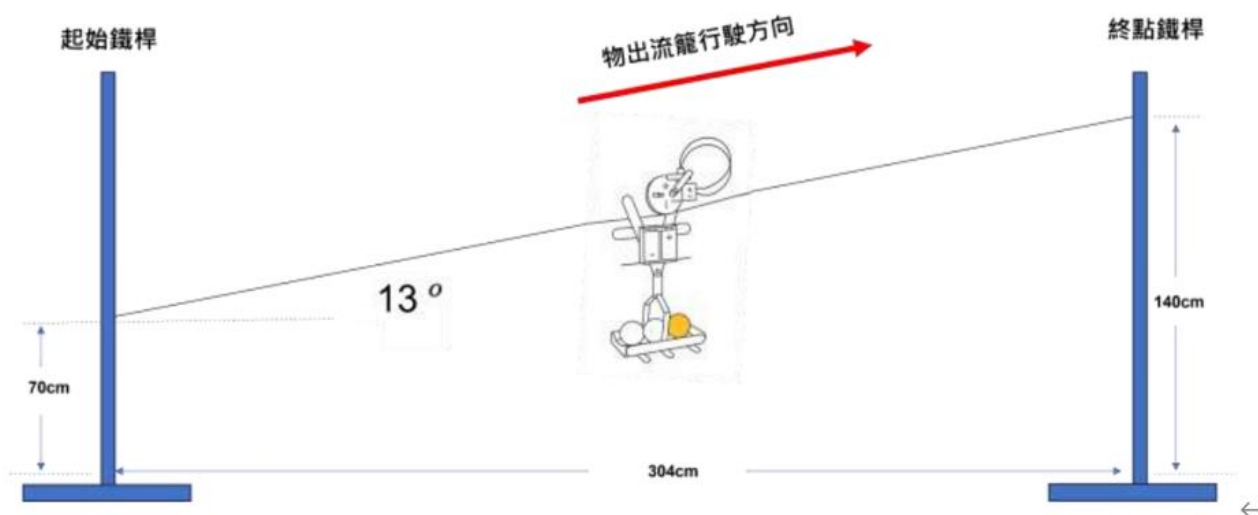


圖 3-2 2025-STEAM 後台[參考資料 1]

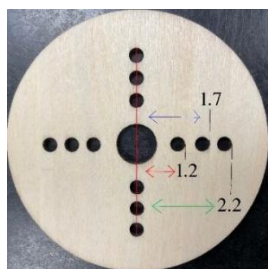


圖 3-3 外車輪孔洞與圓心的距離，單位公分

教室內流籠移動的場地如圖 3-4，長 304 公分，高度角 13 度。每次實驗要收集三次數據，流籠再次運轉時，要能直接放入纜繩的起始點，而不能解開纜繩再掛上，下表彙整出我們在製作樣版的過程中所遭遇的困難及改進的方法：

排序	發現問題	解決方法
1	齒輪上有熱熔膠，使馬達運轉的聲音很大聲	去除齒輪上的熱熔膠
2	爬坡的棉線鬆了，使流籠無法爬完全程	棉線綁緊
3	爬坡中搖晃很劇烈，因爬坡的棉線變鬆了	棉線綁緊
4	車輪轉速異常慢	旋緊馬達裝置與車輪連接的塑膠套
5	流籠的重心偏移，使載重物易掉出	移動電池座的位置
6	熱熔膠黏到貫穿齒輪的鐵棍，使齒輪轉動不順	去除鐵棍上的熱熔膠
7	互扣的齒輪轉動聲音很大	滴上針車油
8	流籠向後退	交換與馬達相連接的正負極
9	固定用的齒輪卡到上板，無法轉動	用冰棒棍墊高，拉開兩方的距離

我們發現在裝置製作時，需將傳送動力的每個零件組裝要到位，因不管是流籠重心不穩、車軸塑膠套鬆脫、車輪傾斜，都會讓流籠晃動很大，當晃動大時，馬達的動能無法 100%運用在車輪的動力上，到達時間就會受影響。



圖 3-4 教室內流籠移動的場地

流籠樣版的重量資料

部位名稱 重量(克)	動力 馬達盒	固定 馬達盒	車輪	流籠 上半部	載物籃	電源 + 光電板	流籠總重
裝置							
快速軸	37.1	17.6	15.7	89.3	21.8	74.1	187.8
慢速軸	40.3	17.6	15.7	93.5	21.8	74.1	191.7

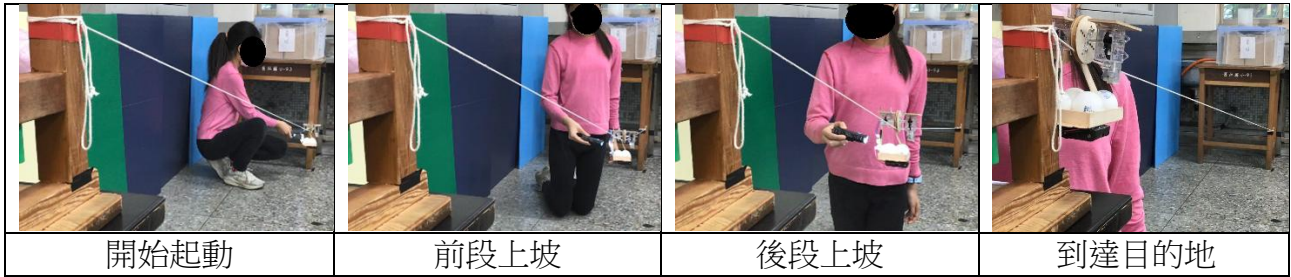
實驗組別	實驗組	對照組
操縱變因	快速軸	慢速軸
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以 4 顆乒乓球為載重物，運轉過程中不掉落。 4.高度角為 13 度。	
應變變因	到達時間	

實驗次數	第一次	第二次	第三次	平均
到達時間(秒)				
運轉速度				
快速軸	17	17	17	17.0
慢速軸	58	59	60	59.0

觀察與結論：

1. 慢速軸起步比快速軸慢。
2. 流籠過一半的距離後，晃動明顯變大，且快速軸比慢速軸晃動大。
3. 慢速軸的到達時間約是快速軸的 3.47 倍，而快速軸的轉速是慢速軸的 3.5 倍，表示車輪的轉速與移動秒數有正相關。

流籠移動圖-快速軸。



流籠移動圖-慢速軸。



二、不同轉速軸

動力馬達盒內不同齒數齒輪互扣，可傳送不同大小的動力，再利用輪軸原理將動力輸出給車輪，齒數多的齒輪轉動圈數少，快速軸由 2 個齒輪互扣來傳送動力，慢速軸由 3 個齒輪互扣來傳送動力(詳細轉速比，請參考前言章節的科學原理-馬達組)。

我們想了解不同的轉速軸在不同的爬坡高度角及載重量下，如何影響到達的時間，我們做了以下的探究。

(一) 高度角與到達時間之相關性

我們利用三角函數如圖 3-5，找出對應不同高度角其纜線兩邊的高度差(對邊)，如下表：

高度角(度)	$\tan \theta$	底邊(公分)	對邊(公分)
5	0.087	304	26.4
10	0.176	304	53.5
13	0.231	304	70.2
15	0.268	304	81.5
20	0.364	304	110.7
25	0.466	304	141.7

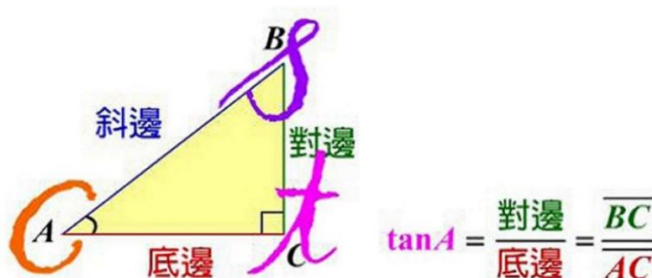
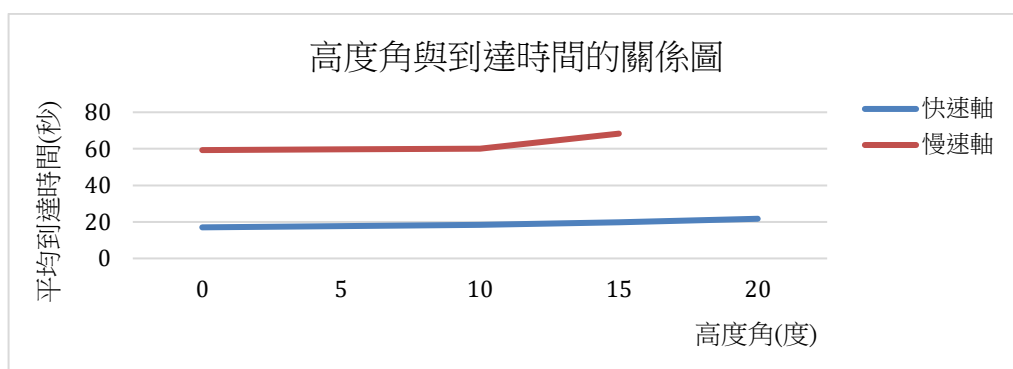


圖 3-5 資料來源：Ken's Blog 網站

每一組別實驗三次，其實驗變因及實驗數據如下表：

實驗組別	快速軸	慢速軸
操縱變因	纜線的高度角	纜線的高度角
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以 4 顆乒乓球為載重物，運轉過程中不掉落。	
應變變因	到達時間	

仰角(度)	0	5	10	15	20
到達時間(秒)					
轉軸速度					
快速軸	17/17/17	17/18/18	18/19/18	19/20/20	21/21/23
平均到達時間	17.0	17.7	18.3	19.7	21.7
慢速軸	59/60/59	59/60/60	60/59/61	66/69/70	無法到達(公分/秒)
平均到達時間	59.3	59.7	60.0	68.3	205/67、153/55、155/57



觀察與討論：

1. 慢速軸的流籠起動慢、馬達運轉聲音大、移動時上下都會晃動。
2. 慢速軸的流籠在移動時，晃動程度比快速軸大。
3. 整體移動中，高度越高流籠上下晃動越小。
4. 快速軸的高度角大於 15 度，平均到達時間有些微線性增加的趨勢。
5. 慢速軸的高度角大於 10 度，平均到達時間已有明顯的線性增加趨勢。
6. 慢速軸在高度角 20 度時，實驗三次的平均移動距離及平均時間為 171 公分/60 秒，其移動距離可以超過纜線的一半，我們發現無法再爬坡的主因是車輪與纜線的摩擦力不足，會導致流籠上坡後又下滑，而無法再前進。

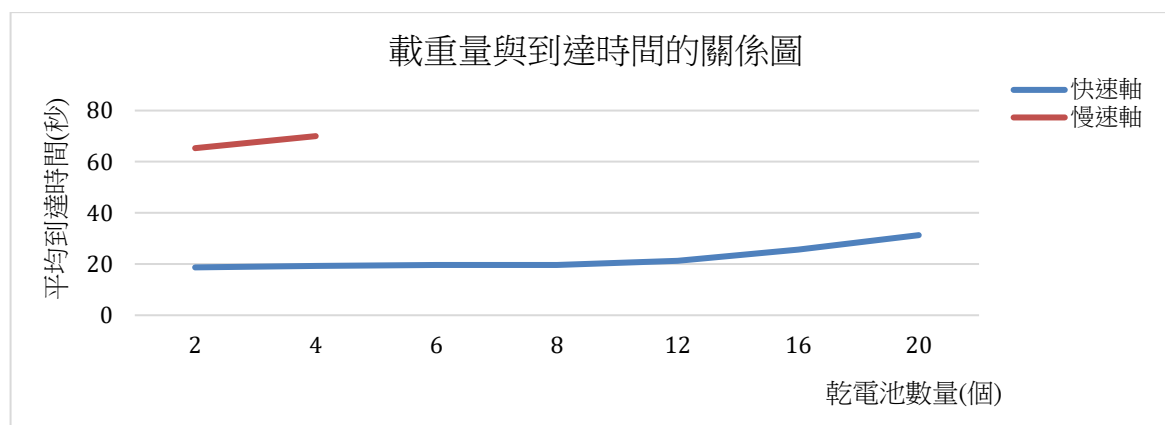
此實驗完成後，我們用此裝置再度測量快速軸高度角 13 度到達時間的數據，發現平均到達時間從 17.0 秒延長到 19.3 秒，推測可能與電池電量有關，但換了新電池重測之後，平均到達時間 19.0 秒，改善空間不大，再度推測可能與馬達的使用壽命有關，因此每一組實驗後，流籠裝置重新製作。

(二) 載重量與到達時間之相關性

一顆乾電池的重量為 13.3 克，期初以兩顆乾電池為級距，後期以 4 顆乾電池為級距，主要是要找出不同轉速下的最大載重量。每一組別實驗三次，其實驗變因及實驗數據如下表：

實驗組別	快速軸	慢速軸
操縱變因	改變載重量	改變載重量
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以乾電池為載重物，運轉過程中不掉落。 4.纜線高度角為 13 度。	
應變變因	到達時間	

載重量(克) 到達時間(秒) 轉軸速度	26.6 (2 顆電池)	53.2 (4 顆電池)	79.8 (6 顆電池)	106.4 (8 顆電池)	159.6 (12 顆電池)	212.8 (16 顆電池)	266 (20 顆電池)
快速軸 平均到達時間	18/19/19 18.7	19/19/20 19.3	19/20/20 19.7	19/20/20 19.7	21/21/22 21.3	24/26/27 25.7	33/30/31 31.3
慢速軸 平均到達時間	65/64/67 65.3	66/69/75 70.0	無法到 達 (公分/秒) 259/68 257/65 251/77	無法到 達 (公分/秒) 237/74 234/78 230/71	X	X	X



觀察與討論：

1. 載重盒內乾電池的放置位置會影響流籠的晃動，但沒有特別明顯的因重量變重而晃動變大。
2. 同載重量下，快速軸的晃動比慢速軸大。
3. 快速軸在載重量約 100 克(約 8 顆電池)內，到達時間差異不大，但超出 100 克之後，到達時間呈現線性增加。
4. 慢速軸增加載重量後，到達時間就呈現線性增加。

5. 慢速軸在載重量約 80 克(約 4 顆電池)時已無法到達目的地。實驗三次的平均移動距離及平均時間為 255.7 公分/70 秒。
6. 慢速軸在載重量約 100 克(約 8 顆電池)時已無法到達目的地。實驗三次的平均移動距離及平均時間為 233.7 公分/74.3 秒。
7. 從(5)及(6)的實驗數據可推論，慢速軸的載重量越重，可移動的距離越短。我們發現，無法再移動的主因不是摩擦力不足，而是纜線的高度角變大而無法往上爬。

經由以上的實驗，我們發現快速軸在載重量及爬坡的高度角比慢速軸優異，因此接下來的實驗以快速軸來做分析，探討車輪的摩擦力及大小對流籠運轉的影響。

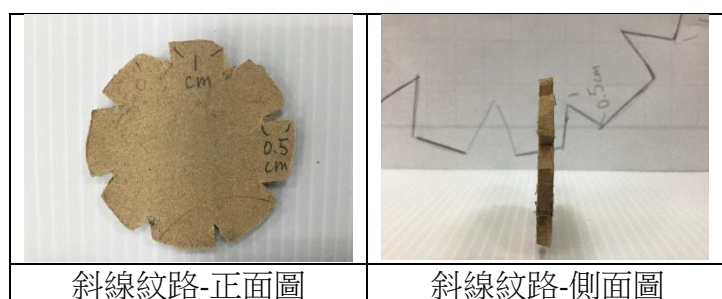
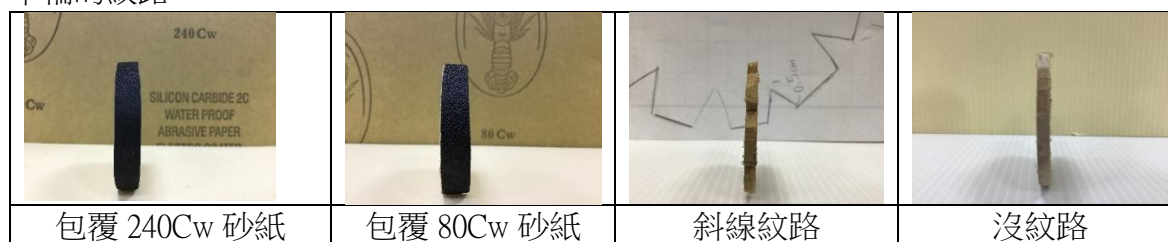
三、同轉速軸

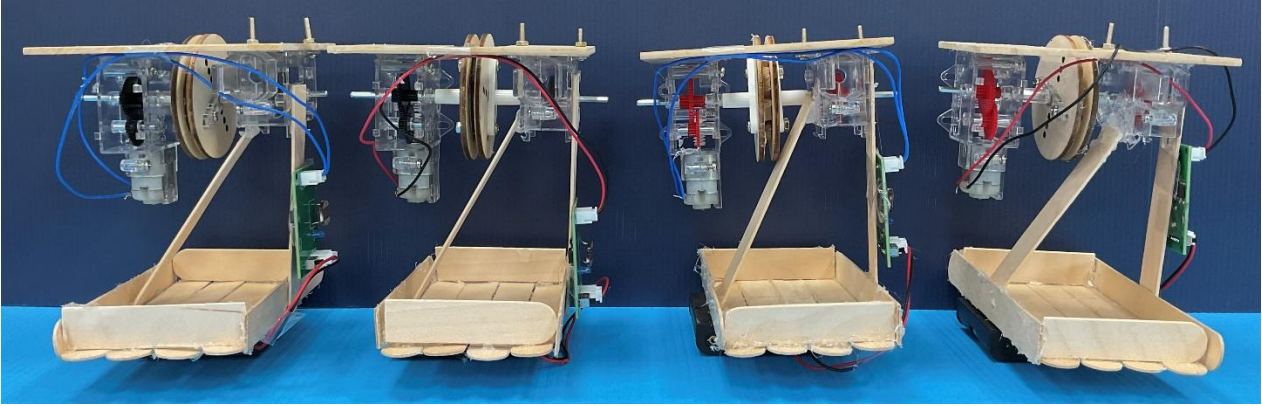
在高度角的探討時，發現慢速軸會因摩擦力不足而爬坡上去後又下滑，而摩擦力會因纜線材質及車輪的紋路而影響流籠的到達時間，流籠移動中主要是車輪在滾動，因此想探討車輪紋路改變的影響性。

(一)車輪的紋路與到達時間之相關性

我們在原木車輪上刻畫斜線紋路及以砂紙覆蓋在車輪上來表示車輪摩擦力的不同，砂紙係數選用 Cw，而砂紙番數採用 80 及 240 兩個等級，番數的數字代表砂紙上研磨顆粒的粗細與密度，數字越小，顆粒越大，表面越粗糙，摩擦力越大。

車輪的紋路



包覆 240Cw 砂紙	包覆 80Cw 砂紙	斜線紋路	沒紋路
			
總重：188.2 克	總重：184.4 克	總重：183.7 克	總重：191.3 克

實驗組別	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	對照組
操縱變因	包覆 240Cw 砂紙	包覆 80Cw 砂紙	斜線紋路	沒紋路
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以 4 顆乒乓球為載重物，運轉過程中不掉落。 4.纜線高度角為 13 度。			
應變變因	到達時間			

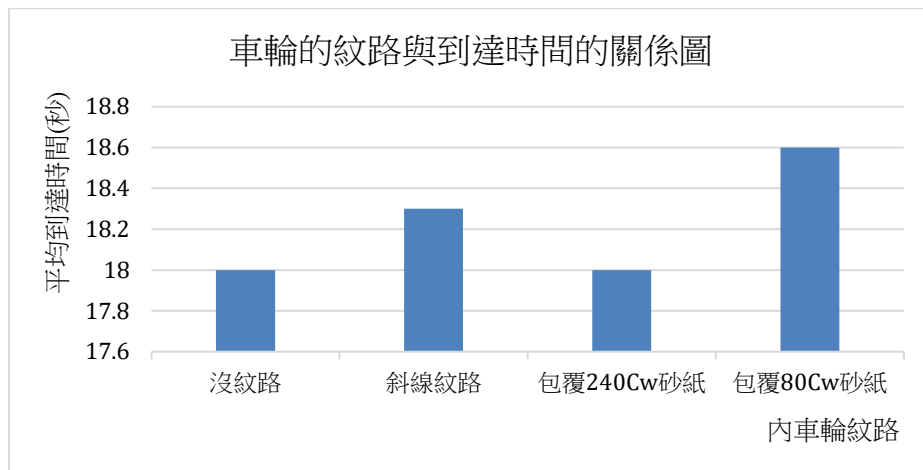
實驗次數 到達時間(秒)	實驗次數			
	第一次	第二次	第三次	平均
實驗組別				
包覆 240Cw 砂紙	18	18	18	18.0
包覆 80Cw 砂紙	10	10	9	9.6
斜線紋路	8	9	10	9.0
沒紋路	18	18	18	18.0

做實驗時，我們發現實驗 2 和 3 組的馬達運轉很快，我們懷疑馬達的轉速是不同的，因此將實驗 1 和 2 的馬達交換，其他條件不變，得到的數據如下：

實驗次數 到達時間(秒)	實驗次數			
	第一次	第二次	第三次	平均
實驗組別				
包覆 240Cw 砂紙	9	9	9	9.0
包覆 80Cw 砂紙	18	18	18	18.0

證實了我們的懷疑，因此將馬達的轉速列入控制變因，再做一次實驗，實驗數據如下：

實驗次數 到達時間(秒)	實驗次數			
	第一次	第二次	第三次	平均
實驗組別				
包覆 240Cw 砂紙	18	18	18	18.0
包覆 80Cw 砂紙	19	18	19	18.6
斜線紋路	18	18	19	18.3
沒紋路	18	18	18	18.0



觀察與討論：

1. 包覆砂紙的車輪，其砂紙越粗糙，流籠到達時間越長。
2. 沒紋路的車輪與包覆 240Cw 砂紙，流籠到達時間一樣。
3. 可推論出，車輪的摩擦力增加，流籠到達時間會增長。
4. 從實驗過程中發現，馬達運轉速度對到達時間的影響比車輪的摩擦力大。



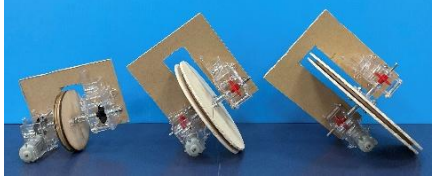
實驗至此，我們發現若改用轉速更快的馬達，可以得到更短的到達時間，但我們是探究變因間的相互關係，因此我們以下的實驗，仍採用小學教材內所適用的一般馬達，我們不為了展現漂亮的數據而中途選用馬力更大的馬達來做實驗。

(二)車輪的大小與到達時間之相關性

流籠的移動距離與車輪的圓周長有相關，若半徑越長，車輪轉動一圈所移動的距離越長，但車輪製作越大，兩片外車輪的半徑也需相對增加，而造成流籠的總重量也會增加，因此我們必須考慮車輪增加的重量與到達時間的相關性；再則，流籠移動時會晃動，內、外車輪的半徑差距若太相近，會導致流籠出軌。

參照報告中的「二、不同轉速的載重量與流籠到達時間」的實驗，我們發現只要車輪總增加重量不超過 90 公克，流籠的到達時間不受影響；在報告中的「一、製作流籠裝置」的實驗，棉線寬度 0.2 公分，我們採用內、外車輪半徑差 1 公分，運轉中不曾出軌，所以接續的實驗，仍採內、外車輪半徑差 1 公分，而木板的材質，內輪採用厚度 0.3 公分的密集板，外輪是厚度 0.2 公分椴木板。

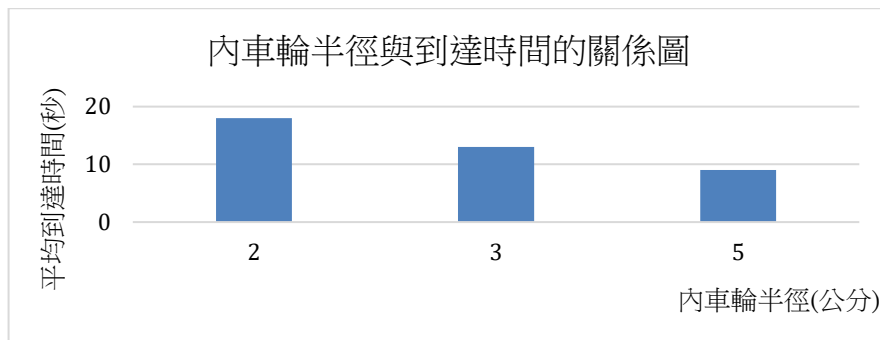
操縱變因

內車輪半徑(公分)	3	5	7
車輪正面圖			
車輪側面圖			
流籠上半部			
上半部重量(公克)	98.1	141.5	191.8
流籠總重(公克)	195.5	245.8	295.1

流籠的上半部很重，要讓流籠的重心平穩不容易，尤其是內車輪 7 公分流籠的平衡是一大問題，我們調整了流籠的高度，由 12 公分至 17 公分，發現流籠的高度增加，較易找到平衡點，不過此流籠總重量超出 280 公克，在靜止時已難達到平衡，所以無法運轉。雖然內輪半徑越大，可讓到達時間越短，但因整體平衡及總重量的限制，是無法無限制地加長圓半徑的。實驗數據如下表：

實驗組別	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3	對照組
操縱變因	內輪半徑 3 公分	內輪半徑 5 公分	內輪半徑 7 公分	內輪半徑 2 公分
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以 4 顆乒乓球為載重物，運轉過程中不掉落。 4.纜線高度角為 13 度。			
應變變因	到達時間			

	實驗次數				
到達時間(秒)	第一次	第二次	第三次	平均	
實驗組別					
內輪半徑 3 公分	13	13	13	13.0	
內輪半徑 5 公分	9	9	9	9.0	
內輪半徑 7 公分	X	X	X	X	
內輪半徑 2 公分	18	18	18	18.0	


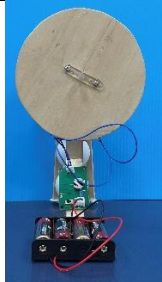
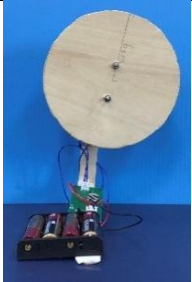

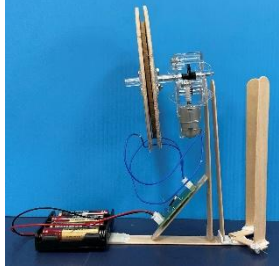
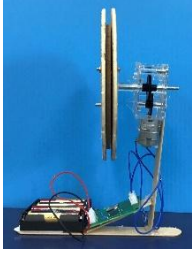


觀察與討論：

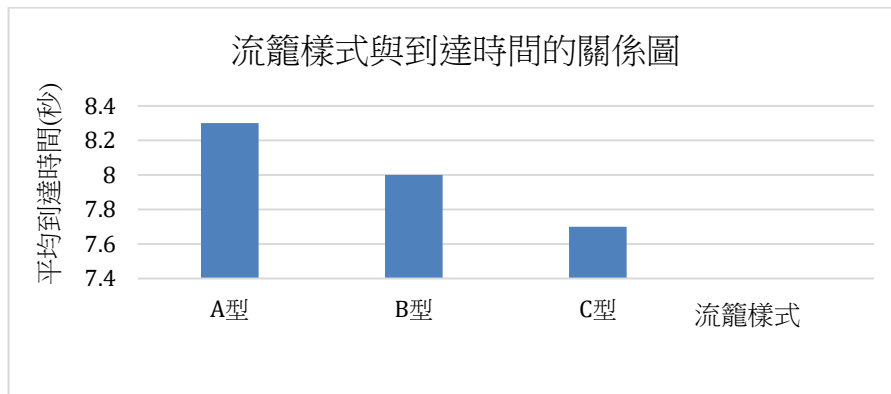
1. 內車輪半徑越大，流籠到達時間越短。
2. 半徑越大，流籠重量越重，平均到達時間沒有倍數比的關係，且時間減少的差距變短。
3. 雖內車輪半徑越大，流籠到達時間越短，但因馬達馬力及流籠平衡的因素，內車輪半徑無法無限制擴張。

四、流籠樣式

綜合上述的探究，發現流籠總重量、內車輪半徑、纜線高度角和馬達馬力是最主要影響到達時間的因素，不過這四個因素有交互作用的相關性，我們選擇改變流籠的總重量為探究內容，且找出重量的主導因素-馬達齒輪組及電池動力組，重新規劃流籠的配重，採內車輪半徑為 5 公分，設計出了進階版流籠。

流籠樣式	A	B	C
正面			
側面			
內車輪半徑(公分)	5	5	5
流籠總重量(公克)	192.3	190.0	175.5
控制變因	1.以 4 顆 3 號電池為驅動馬達的電力。 2.纜線為棉線，寬度約 0.2 公分。 3.以 4 顆乒乓球為載重物，運轉過程中不掉落。 4.纜線高度角為 13 度。		沒有載物籃，不載乒乓球。
應變變因	到達時間		

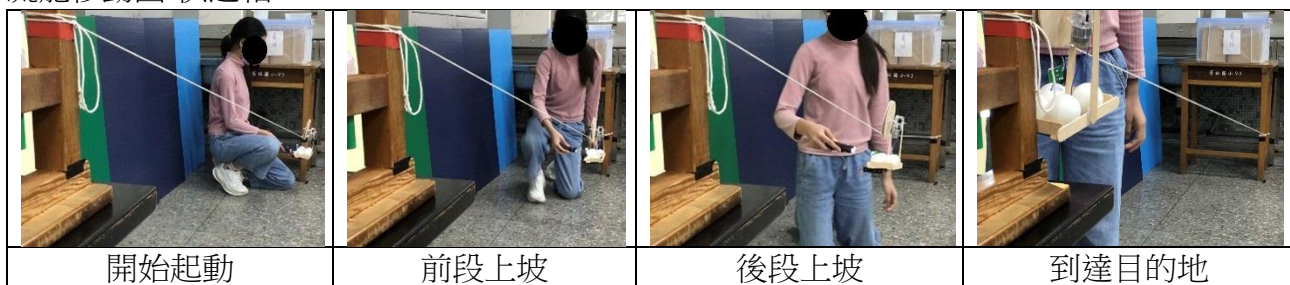
流籠樣式	實驗次數			
	第一次	第二次	第三次	平均
A	8	8	9	8.3
B	8	8	8	8.0
C	7	8	8	7.7



觀察與討論：

1. 流籠樣式 A 及 B，流籠總重量差約 2.0 公克，到達時間相近。
2. 馬達組+車輪+光電板+電池組的總重約為 175 公克，在不載重物的情況下，最佳到達時間是 7.7 秒。
3. 此實驗可推論出，在內車輪 5 公分下，流籠有載重物下，最佳的到達時間約為 8 秒。

流籠移動圖-快速軸。



肆、討論

一、我們原先以競賽所設定的材料做出一台流籠，在過程中發現不少問題，經由團隊的討論，解決一些製作方法及操作上的問題，進一步想藉由操縱變因的探討，讓流籠可以縮短到達的時間，甚至綜合以上的因素，重新設計流籠裝置，讓流籠不僅運轉順利且快速到達目的地。以下是基本版的設計，在不同轉速軸為動力下，實作後的討論：

(一)齒輪轉速的選擇

1. 齒輪連結同馬力的馬達，藉由齒輪互扣的原理，選擇 2 個齒輪互扣(快速軸)及 3 個齒輪互扣(慢速軸)，轉速比為 7:2，慢速軸到達的時間是快速軸的 3.5 倍。
2. 流籠運轉期間快速軸晃動比慢速軸大，雖載重約 11 克的 4 顆乒乓球，但沒有球體掉落，若置物籃包覆載重物的範圍大，快速軸是理想的選擇。

(二)纜線高度角的選擇

1. 快速軸的高度角大於 15 度，到達時間有些微線性增加的趨勢，約 25 度已無法到達終點。
2. 慢速軸的高度角大於 10 度，到達時間有明顯線性增加的趨勢，約 20 度已無法到達終點。
3. 兩轉速軸無法再爬坡的主因，是車輪與纜線的摩擦力不足，導致流籠上坡後又下滑，而無法再前進。

(三)載重量的選擇

1. 快速軸的載重量增加到 106 公克，而流籠總重量約 280 公克，到達時間有明顯線性增加的趨勢。
2. 慢速軸的載重量增加到 26 公克，而流籠總重量約 210 公克，到達時間有明顯線性增加的趨勢。
3. 當載重物越重時，流籠雖掛在高度角 13 度的纜線上運轉，但受到地球引力的影響，會讓流籠在運轉時的高度角變大，而無法往上爬。

二、從上述的探究，發現流籠會受與纜線摩擦力的影響而無法繼續爬坡，我們想藉以車輪為操縱變因繼續探討，來找到適合的配套設施，以改善流籠到達的時間，以下是以快轉速軸為動力，實作後的討論：

(一)車輪摩擦力的選擇

1. 增加車輪的摩擦力，會增加到達的時間。
2. 改變車輪的摩擦力，對到達的時間影響不大。
3. 馬達動力的大小對到達時間的影響比改變車輪的摩擦力大。

(二)車輪式樣的選擇

1. 內車輪半徑比 2 : 3 : 5，相對到達的時間比 18 : 13 : 9。
2. 增加車輪的圓半徑，可減少流籠到達的時間。
3. 每遞增車輪半徑一個級數，流籠到達時間所縮短的數值會遞減。
4. 雖增加車輪圓半徑可減少到達的時間，但流籠總重量也會增加。總重量的增加會影響：(1)運轉時因地球引力的影響，而無法讓纜線維持在固定的高度角，流籠會因棉線(纜線)的彈性而增加爬坡的高度角。(2)流籠的重心不穩定，雖可提高流籠的總高度來舒緩，但微調有限。

三、綜合上述的探究，在馬力不改變下，若能讓流籠的重量輕、內車輪大，到達時間應該可以改善很多，所以我們重新規劃流籠的配重，設計出進階版流籠，實作後的討論如下：

(一)流籠內車輪半徑 5 公分，當不載重物下的總重量 175 公克，到達時間 7.7 秒。

(二)在最簡流籠樣式的設計下，流籠內車輪半徑 5 公分，流籠總重約 190 公克，到達時間 8.0 秒。

四、此流籠的運轉是靠光源，我們用呼吸閃(50-100lm)及高亮檔(850lm)不同的光亮度(單位 lm)來測試流籠到達的時間，發現光的亮度不會影響到達時間。

五、電池的電力大小也會影響流籠到達的時間，不過一組實驗次數只有三次，電力的損耗差距不大，所以實驗過程中沒有更換電池。

伍、結論

- 一、影響流籠的運作有纜線的高度角、流籠總重量、電池電力、馬達的馬力、車輪大小、纜線的材質。此探究內容是將馬達的馬力、纜線的材質為控制變因，且發現實驗次數越多，電池電力及馬達的耗損會影響到達的時間，因此以三次實驗次數為主，所得到的實驗數據誤差值很小。
- 二、此實驗是馬達結合齒輪為動力，若齒輪轉動次數越多，車輪半徑越大，到達時間越短。但車輪半徑越大，流籠總重量會增加，流籠在纜線上運轉時會因地球引力而增加爬坡的高度角。以快速軸而言，若纜線高度角大於 15 度，到達時間呈線性增加，若大於 25 度就無法到達終點；以慢速軸而言，若纜線高度角大於 10 度，到達時間呈線性增加，若大於 20 度就無法到達終點。
- 三、流籠是否可以達到終點，與纜線高度角、流籠總重量、車輪摩擦力、流籠平衡度有關。
 - (一)纜線是寬度 0.2 公分的棉線，增加車輪摩擦力對到達時間的影響不大，要注意的反而是綿繩是否有拉緊，纜線一鬆，高度角增加，就不易到達終點。
 - (二)馬達的馬力是固定的，流籠總重量若大於 280 公克，力量無法拉動流籠，就不易到達終點。
 - (三)車輪滾動時，流籠若配重不平衡，易使流籠晃動大，流籠則會掉落。當內車輪半徑超出 6 公分，已難以讓流籠達到平衡，可以考慮增高流籠的高度且總重量小於 280 公克也許有可行的空間。
- 四、流籠的重量越輕，內、外輪半徑差小於 1 公分，內車輪半徑 5-6 公分，流籠能平衡，可有較短的到達時間。而此實作探究出-用快速軸、4 顆 3 號乾電池，內車輪 5 公分、流籠總重量約 190 公克，在 0.2 公分寬的棉繩纜線，纜線高度角 13 度，載 4 顆乒乓球，行走距離 304 公分，到達時間約 8 秒。

陸、參考文獻資料

1. 2025-STEAM 後台。2025 年 10 月 30 日，取自：<https://isteam.cdda.org.tw/client/Home>
2. 臺灣網路科教館-生活科學補給站。2025 年 11 月 10 日，取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6844&p=1&lid=15544>
3. 翰林雲端學院 - 摩擦力。2025 年 11 月 30 日，取自：
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E9%AB%98%E4%B8%AD/%E7%89%A9%E7%90%86/%E5%8B%95%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B.html>
4. 三角函數計算器。2025 年 11 月 30 日，取自：
<https://calculator.tw/%E4%B8%89%E8%A7%92%E5%87%BD%E6%95%B8%E8%A8%88%E7%AE%97%E5%99%A8/>
5. DAT | 機械組織 Mechanisms | S2 科技原理 Technological Principles。2025 年 11 月 30 日，取自：<https://recurso.com.hk/dse-a/dat/dat-s2/mechanisms/>
6. 生活科學補給站-小齒輪，大關鍵！2025 年 11 月 10 日，取自：
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6844&p=1&lid=19250>
7. 昌爸工作坊 - 齒輪的嚙合。2025 年 11 月 10 日，取自：
<http://www.mathland.idv.tw/life/gears.htm>
8. 翰林雲端學院 - 輪軸。2025 年 11 月 10 日，取自：
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96/%E8%BC%AA%E8%BB%B8.html>

附錄、研究心得

甲同學：

我覺得找題目最困難，因為找了快兩個月遲遲沒有進展，那時覺得好像少了剛參加的興奮感，是另一個團隊給我們靈感，題目才定案。在組裝第一台流籠時，很期待去團練，但因為是第一次做，產生了許多的問題，像馬達或齒輪裝反、主結構歪斜和黏的不牢固...等，尤其我們為了讓流籠可直接放在纜線上，所以支撐載重物的支架由直立改成傾斜，與流籠的黏接處從面變成線，所以要把它黏的牢固就更加困難，因等待熱熔膠乾的時候就要一直壓著黏貼的位置，手要很用力也會很酸，但問題獲得解決後，又開始期待下一個進度。

隊友間蠻能合作的，沒有發生什麼太大的爭執，除了有時候可能稍微意見不同而已，但遇到困難會一起解決，需要幫忙的時候也能相互支援，一起分工合力完成作品，很有成就感。

參加科展最大的收穫就是與別人合作做出的成品，及學習以不同的方向思考關於科學的問題及解決問題的方法，例如如何讓流籠速度變快、增加摩擦力的形式、改變輪子的樣式...等，製作每一台流籠都必須用心、專注，更能練習耐心。雖有時會被老師糾正，但這是一種學習，也是一種收穫。

乙同學：

哥哥參加過科展，每次團訓回來就會得意洋洋地說他們今天做了什麼，讓我感覺科展做的東西好酷喔！所以我很期待加入科展團隊，因為我覺得我的手作能力也不差，應該可以做出很棒的東西。

在研究的過程中，因為要同時製作多台流籠，我們就將裝置拆解，讓夥伴們認領來分工，但沒有事先充分討論，等到要拍照存檔時，才發現每個人所製作的動力馬達，它所放置的方位不同，因馬達是整個動力來源，若某個部位沒接好，可能導致動力損失，實驗數據會不準確，結果為了一致性及以後實驗數據若出狀況時，較易回推哪個環節出問題，所以我們將裝置拆解再次組裝，又花了很長的時間來調整裝置，所以我體會到做每一件事都要充分溝通及謹慎地做到最完美，萬一一個步驟出錯，後面就得做出更多努力，才能補救回來。

因馬達組裝的實作，引發我對齒輪動力的好奇，也讓我發現科學這麼好玩，就算每個星期日都要早起去參加一整天的科展團訓，我還是覺得很開心，不會覺得辛苦，因為在這讓我學習到許多學校的教科書不會教到的東西，希望還有機會可以再次參加科展。

丙同學：

當我知道被科展團隊錄取時，我興奮地大叫，不久後我又有點遲疑，因為有三件事一直在我腦中浮出：(1)我需要放棄參加合唱團，(2)我怎麼想我也進不了科展，因為我自然科學的考試成績沒有很好，(3)週日都需去學校做科展的實驗，所以這樣不就沒有時間出去玩了！不過我覺得參加科展可以學到很多東西，也對我的能力增長有幫助，所以我就毅然決然地加入團隊。

在探究的過程中，我們沒有很順利，且遇到好多的問題，例如：流籠移動時，就卡在半路不會動、流籠的馬達轉動聲音很大、數據不太穩定，我們須發揮偵探的觀察力及組員間的討論，才把問題一一解決，雖然要將難的問題解決很辛苦，但解決後反而很開心。

流籠製作的過程中，常須用到熱熔膠黏東西還有用鋸子切割木板，但用熱熔膠黏置物籃常會黏不住而掉落，這時需把膠去除乾淨再重黏，因此大家比較喜歡用鋸子切木板，因失敗率較低，所以我們要黏東西時，就會先猜拳來決定誰切割木板、誰黏置物籃，可是常常就同一個人一直輸(苦力工作者，哈哈)……。我們在做實驗時都不會吵架，可是有時連續實作太久，就會想偷懶一下，若被眼尖的隊友抓包到，對方就會有點尷尬的傻笑，不過我們還是會嘻嘻哈哈的一起合力完成工作。

在這團隊中，我發現好多我平常做事都沒注意到的細節；初期的實作時，因要用尺測量距離，我用蠻力硬掰斷一支尺，後來我發現事情的處理不是只有一種方法、做實驗時要專心地做，不要邊做事邊看別人在做什麼、製作的物品要標準化，不要用感覺大約就好，要用工具測量標記記號、不懂時就要問，不然做錯了又要重做一次很花時間和精神，也會被罵得很慘、實驗的材料要備齊，不要東缺一件，西少一個，若少了一個環節有可能前功盡棄……探究期間雖然很辛苦，可是也有快樂的地方，就是好不容易用鋸子切下木板後，要鑽洞時就常會鑽錯邊，這時，我們三個就會坐在地板上哈哈大笑!!