

屏東縣第 60 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：輪子直徑大小對行進於直線道及越過障礙物時速度的影響

關 鍵 詞：輪子直徑、障礙物、速度

編號：

摘要

在本實驗中，我們討論當輪子的直徑大小改變，在直線道及越過障礙物時，所造成的速度影響，以了解在實際情形中，輪子的直徑大小對於車子行進時損耗能量的影響，希望在電動車中，能找到更節省電能的輪子種類。我們利用四組厚度相同，直徑大小不同的輪子進行實驗，在直線道上實驗時，發現輪子的大小和速度沒有明顯的關聯，也就是輪子的大小和車子前進的速度無關。在有障礙物的直線道中，輪子直徑較大時，損失能量較少，輪子直徑較小時，損失能量較多。

壹、研究動機

因為環保觀念日漸受到重視，所以現在常常看到電動機車在街上行駛，我們觀察到不同種類的交通工具輪胎的大小常常不同，電動機車的輪子通常比較小，有時也可以看到同樣是電動機車，輪胎的大小也可能不一樣。而且我們也發現到像越野車，要在野外障礙物多，路面情況較不平整的地方行駛的交通工具，輪子也會比較大；而轎車的輪子通常會比較小。到底輪子的大小不同時會對車子的行駛會有什麼樣的影響，在遇到障礙物時又對哪種輪子較有利，損耗能量會較少？

我們上網和找相關資料^[1]時，也發現到有一些不同的看法，通常大家會覺得輪子大的車子起動較慢，但是最高速度較好(圖 1-1)；輪子小的車子起動較快，但是最高速度較慢；在遇到障礙物時，輪子大的車子越過時較容易，損失的動能較少；輪子小的車子則不適合行駛顛簸的路面(圖 1-2)。但是我們找不到更詳細的數據資料來佐證。

所以我們想自己做實驗，了解到底輪子直徑大小的不同對行進於直線道及越過障礙物時的影響？

我們在實驗中參考了自然與生活科技課本第五冊中有關速度、加速度、簡單機械的相關原理^[2]，來進行實驗。



圖 1-1 較大的輪子直徑^[3]



圖 1-2 較小的輪子直徑^[4]

貳、研究目的

一、實驗一：直線道

(一)實驗目的：

探討輪子直徑大小的不同，對於車子行駛於直線道時速度的影響。

(二)控制變因：

馬達動力、輪子厚度、輪子材質、跑道材質、車子質量。

(三)操縱變因：

不同輪子直徑（相同厚度）。

(四)實驗項目：

在相同的馬達動力下，以輪子直徑為 A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm，四組輪子分別在直線道上實驗，使用打點計時器在紙帶上留下車子行進時的資料，再分析得到車子的速度及加速度。

二、實驗二：有障礙物的直線道

(一)實驗目的：

探討輪子直徑大小的不同，對於車子越過障礙物時加速度的影響。

(二)控制變因：

馬達動力、輪子厚度、輪子材質、跑道材質、車子質量。

(三)操縱變因：

1.不同輪子直徑（相同厚度）。

2.不同障礙物高度，分別為 S:0.20cm、M:0.40cm、L:0.60cm 三種。

(四)實驗項目：

以輪子直徑為 A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm，四組輪子分別在不同障礙物高度，S:0.20cm、M:0.40cm、L:0.60cm 三種路面上行駛，使用打點計時器在紙帶上留下車子行進時的資料，再分析得到車子的加速度，以了解輪子大小不同時，在障礙物上所損失的能量大小的關係。

參、研究設備及器材

一、常用工具

皮尺（圖 3-1）、剪刀、老虎鉗、膠帶及雙面膠（圖 3-2）。



圖 3-1 皮尺



圖 3-2 常用工具

二、天平

使用電子天平（圖 3-3）測量輪子、四驅車的質量（圖 3-4）。在實驗中，不同的輪子重量有些微不同，我們分別測得每組輪子的質量如表 3-1，輪子直徑 A:2.30cm 質量為 9.44g、B:2.50cm 質量為 12.37g、C:2.80cm 質量為 10.28g、D:3.10cm 質量為 14.58g，因為質量不是我們在本實驗中要討論的變因，所以加上小砝碼（圖 3-5），儘量讓每組的質量皆相同。



圖 3-3 電子天平和砝碼

組別	輪子質量(g)	四驅車質量(g)	加上小砝碼質量(g)	總質量(g)
A	9.44	111.27	4.00	124.71
B	12.37	111.27	2.00	125.64
C	10.28	111.27	4.00	125.55
D	14.58	111.27	0.00	125.85

表 3-1 質量為控制變因



圖 3-4 四驅車的質量



圖 3-5 在四驅車上加上小砝碼，讓每組實驗質量相近

三、四驅車

我們在實驗中的四驅車組裝好後（圖 3-6），要配上自製的輪子，因為買不到相同厚度不同直徑大小的輪子，所以要自己製作。實驗中的動力來源為 3.0V 的電動馬達，在實驗中，動力來源也設定為控制變因，各組都要相同，才能比較出輪子大小對車子行進時的影響。

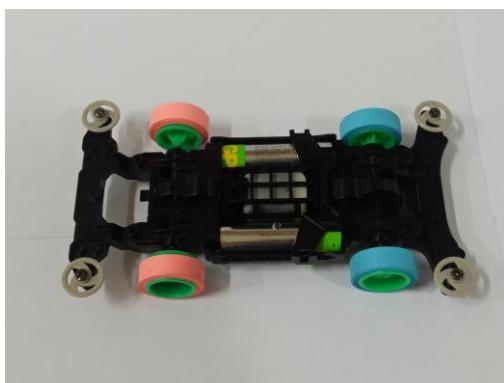


圖 3-6 組裝好的四輪車

四、輪子製作

在實驗中輪子的直徑大小是最重要的操縱變因，但是市面上買不到直徑不同、其餘材質、厚度等各項條件都相同的輪子，所以要自己製作。我們用紙膠帶纏在輪圈上，就可以製作出符合實驗所需的輪子直徑，我們製作出分別為 A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm 的四組輪子（圖 3-7）。顏色不同是紙膠帶顏色的緣故，材料還是紙，在接觸面的性質和四驅車質量都相同的情形下，摩擦力也會一樣，不會影響實驗結果。

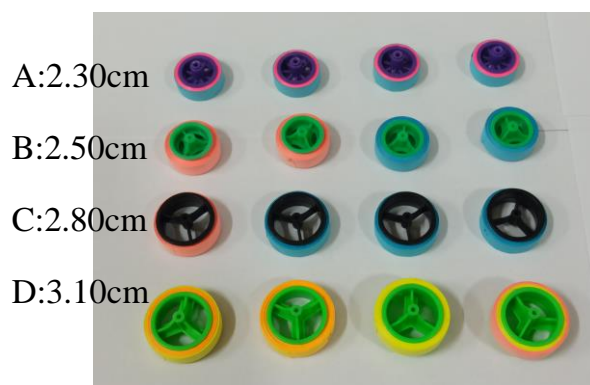


圖 3-7 四輪車專用的輪圈

五、直線道、障礙物的製作

然後製做直線跑道，我們考慮若是在一般地面操作實驗，地面上的摩擦力可能很難掌控，而且四驅車也不一定能跑的很直，所以要自己製做跑道，並且要在兩側加上護欄。

首先，到文具店買塑膠板（圖 3-8），裁切成適合的寬度（圖 3-9），再利用支架將紙板固定在側邊，使四驅車在前進時能保持直線。我們到五金行買線材的固定器，將上面的釘子去掉（圖 3-10），當成護欄的支架（圖 3-11），再用泡棉膠來黏貼。



圖 3-8 在塑膠板上量好距離



圖 3-9 裁成適合的寬度



圖 3-10 將固定器的釘子拔掉



圖 3-11 做成護欄支架

四驅車的兩個導輪間的距離為 8.80cm (圖 3-12)，所以跑道的寬度我們設定為 10.00cm (圖 3-13)，希望四驅車在前進時能保持直線，也能使導輪和護欄間的摩擦力降到最低。

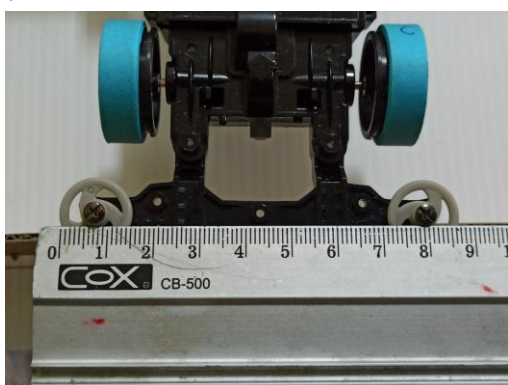


圖 3-12 兩個導輪間的距離 8.80cm



圖 3-13 跑道護欄間的距離 10.00cm，略大於導輪間距離

我們需要較長的跑道，好讓四驅車可以在不同輪子大小的情形下能跑出最高速度，所以將四片塑膠板串接起來 (圖 3-14)，在接合處則要小心，以免四驅車在前進時卡住造成實驗誤差 (圖 3-15)。

花了不少時間，將跑道製作完成，跑道的全長有 400 cm (圖 3-16)。

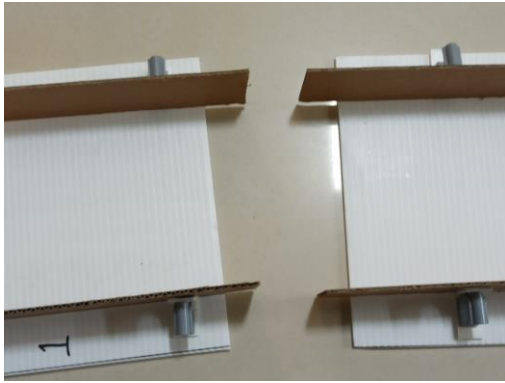


圖 3-14 塑膠板接合處

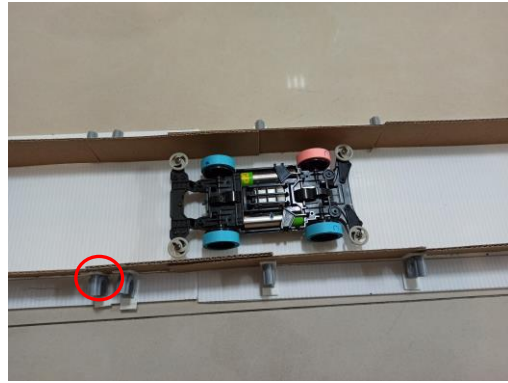


圖 3-15 車子應向右前進，
避免卡到紅圈中的紙板凸出處

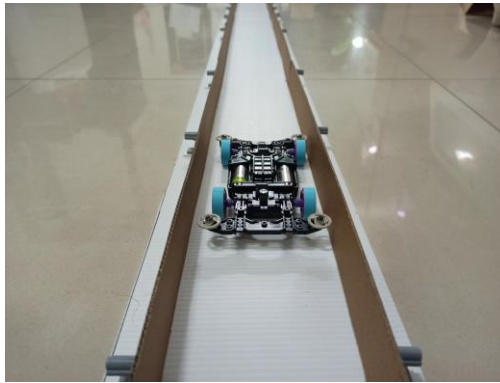


圖 3-16 製作完成的跑道

然後要製作實驗二中的障礙物，我們使用冰棒桿來製作。在實驗二中，我們製作出三組高度不同的障礙物，分別為 S:2.0mm、M:4.0mm、L:6.0mm 三種（圖 3-17），分別對應四組直徑大小不同的輪子，測試出哪種大小的輪子在越過障礙物時能有較小的能量損失。

冰棒桿分成兩截是因為四驅車的底盤很底，在輪子直徑很小時，車身太低，底盤會被障礙物卡住，會讓實驗有很大的誤差，所以障礙物分成兩截，輪子會撞到，但底盤不會。使用冰棒桿當材料是因為冰棒桿厚度為 2.0mm，相當平均，製作上較為容易，疊起來後高度也很適合我們輪子的高度，因為障礙物只要和輪子的半徑相同時，應該即無法越過。

在圖 3-18 中，我們遇到了一個問題，導輪支架太低會卡住 6.0mm 高的障礙物 L，我們最後使用砂紙將導輪支架底部磨平得到解決。

然後，我們將障礙物黏在距跑道起點 50cm 處，因為如果障礙物距離跑道起點太近，四驅車還沒加速即會遇到障礙物，怕會越不過去。設在離跑道起點太遠處，四驅車容易因為速度太快衝出跑道翻車。所以，我們也在障礙物處將護欄加高（圖 3-19），以免四驅車跳得太高導輪卡住護欄。

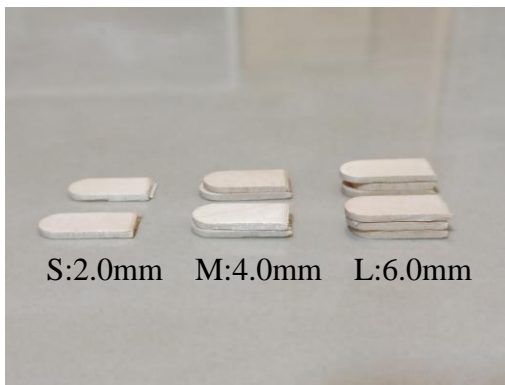


圖 3-17 三種不同高度的障礙物

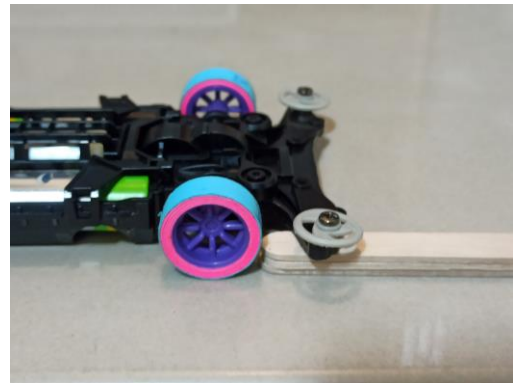


圖 3-18 導輪支架太低卡住障礙物 L

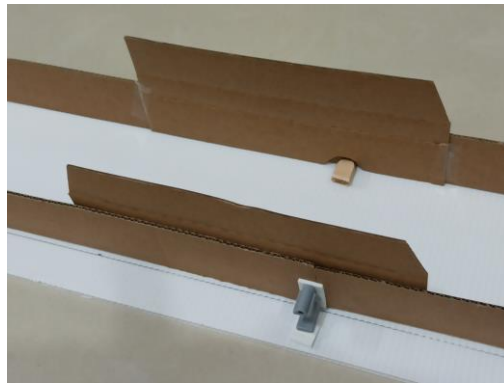


圖 3-19 將護欄加高，以免四驅車跳出跑道

六、打點計時器的使用、紙帶的製作

我們在實驗中使用打點計時器來測量四驅車的速度和加速度，打點計時器九年級的實驗中有教，所以可以向實驗室借即可（圖 3-20）。

打點計時器的電壓為 3.0V，是固定的。但是打點器上的螺絲可以調整，使打點器的頻率也會跟著改變，所以我們要先測出打點計時器的頻率，我們在實驗中可以測量四驅車跑完跑道的時間，再看打出幾個點，即可推算出打點計時器的頻率。

已知

$$\text{頻率 (Hz)} = \text{打點數} / \text{時間}$$

$$\text{週期 (秒)} = \text{時間} / \text{打點數}$$

由表 3-2 可以算出，我們所使用的打點計時器頻率大約為 33Hz，週期大約為 0.03 秒，也就是在紙帶上每兩點間的距離雖然不同，但時間皆為 0.03 秒，若兩點間的距離越大，即代表其速度也越快。



圖 3-20 打點計時器

	時間(秒)	間隔數(個)
一	2.0	60
二	1.7	58
三	1.6	56
四	1.5	58
五	1.8	57
平均	1.72	57.8

頻率(Hz) 33.6047

週期(秒) 0.0298

表 3-2 打點計時器頻率

另外，在我們的實驗中需要很多紙帶來操作實驗，但是學校沒有多餘的紙帶可以提供我們做實驗，所以我們自己將 A4 紙張裁切成 0.80cm 寬的紙條，再一條一條黏起來，用了很多時間，黏成一大堆紙帶（圖 3-21），再將紙帶纏起來，整理好方便實驗時使用（圖 3-22）。



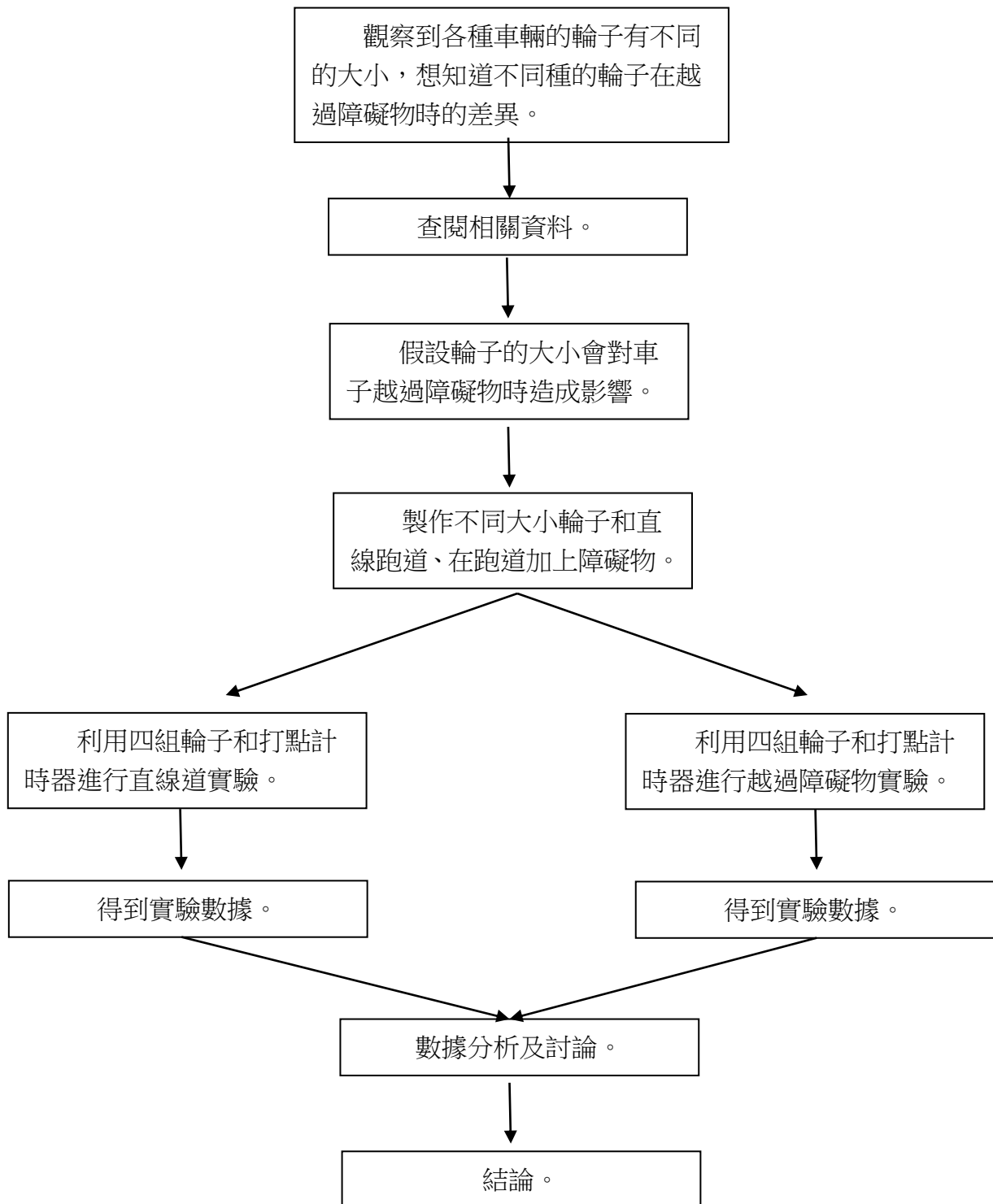
圖 3-21 製做好的紙帶



圖 3-22 將紙帶纏好備用

肆、研究方法

一、實驗流程圖



二、實驗方法

實驗一：直線道

將紙帶穿過打點計時器(圖 4-1),加上覆寫紙,然後將紙帶黏在四驅車上(圖 4-2)。實驗前要將紙帶先試拉一下,避免實驗中紙帶卡住,產生多餘的摩擦力,造成不必要的實驗誤差。然後就可以先開四驅車的電源,再開動打點計時器的電源,放開四驅車,四驅車後輪貼齊跑道末端,可以將跑道做最有效利用。車子向前進,打點計時器會在紙帶上留下圓點,收集每次實驗結束後的紙帶,量出紙帶上相鄰兩點的距離(圖 4-3)。

實驗一為探討輪子直徑大小的不同對於車子行駛於直線道時速度的影響。在相同的馬達動力下,有四組輪子,直徑分別為 A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm,我們每組操作三次,所以有 12 條紙帶(圖 4-4),每條紙帶長約 390cm,大約有 60 個點。



圖 4-1 紙帶穿過打點計時器



圖 4-2 將紙帶黏在四驅車上

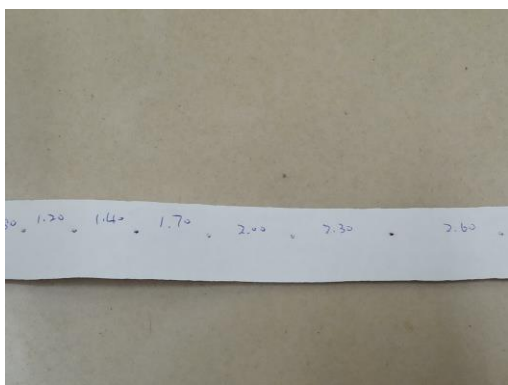


圖 4-3 量出相鄰兩點間的距離



圖 4-4 實驗一所收集的數據紙條

實驗二：有障礙物的直線道

在實驗二中,我們要探討輪子直徑大小的不同,對於車子行駛於有障礙物的直線道時速度的影響。實驗中,有三組高度不同的障礙物,分別為 S:2.0mm、M:4.0mm、L:6.0mm 三種,分別對應四組直徑大小不同的輪子 A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm,測試出哪種大小的輪子在越過障礙物時能有較小的能量損耗(圖 4-5)。

每組分別操作三次實驗,收集紙帶再分析數據。在實驗二中,我們一共有 12 組實驗,所以共有 36 條紙帶(圖 4-6),每條紙帶長約 190cm。



圖 4-5 實驗二裝置圖



圖 4-6 實驗二所收集的紙帶

在自然與生活科技課本第五冊中，有教到打點計時器實驗，在實驗中所收集到的紙帶可能如圖 4-7 中有這四種情形，紙帶的拉動方向為向右方，運動情形分別如圖所示：

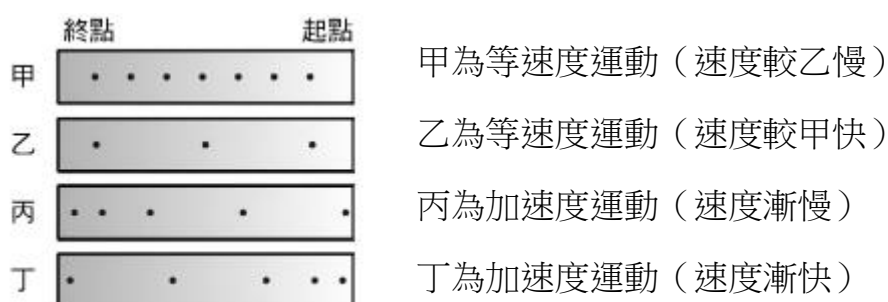


圖 4-7 紙帶所表示出的運動狀態^[5]

在我們的實驗中，也可以觀察到打點分布有類似的情形。

接下來我們要用尺將紙帶上每兩點間的距離，即是兩點間的位移（圖 4-8），測量並記錄下來，用式 4-1，計算出每兩點間的平均速度，輸入電腦後繪製成速度-時間關係圖，再用式 4-2 計算出加速度，或參考表 4-3 的方式來計算，瞭解加速度的變化。

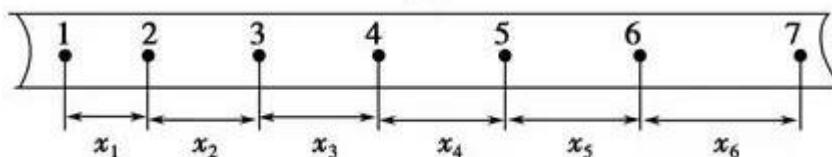


圖 4-8 量出每兩點間的距離^[6]

公式：

$$\text{平均速度 } v = \frac{\text{位移 } x}{\text{時間 } t} \quad \text{單位} = \frac{\text{公分}}{\text{秒}} \quad \boxed{\text{式 4-1}}$$

$$\text{加速度 } a = \frac{\text{速度差}(v_2 - v_1)}{\text{時間 } t} \quad \text{單位} = \frac{\text{公分}}{\text{秒}^2} \quad \boxed{\text{式 4-2}}$$

打點順序	1	2	3	4	5
位移 (m)	x_1	x_2	x_3	x_4	
平均速度 (m/s)	$v_1 = \frac{x_1}{t}$	$v_2 = \frac{x_2}{t}$	$v_3 = \frac{x_3}{t}$	$v_4 = \frac{x_4}{t}$	
加速度 (m/s ²)		$a_1 = \frac{v_2 - v_1}{t}$	$a_2 = \frac{v_3 - v_2}{t}$	$a_3 = \frac{v_4 - v_3}{t}$	

表 4-3 計算出速度及加速度方法

伍、研究結果

一、直線道實驗數據

A 實驗 (進行三次實驗 A1、A2、A3)

輪直徑高度：2.30cm

障礙物：無

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A1	0.30	0.50	1.20	1.40	1.70	1.90	2.30	2.50	2.80	3.30	3.40	3.90	4.30	4.50	4.60	4.80	5.20	5.80	5.40	6.00
A2	0.30	0.40	0.90	1.20	1.40	1.80	2.00	2.30	2.50	3.00	3.10	3.40	4.10	4.20	4.30	5.10	4.50	5.40	5.40	5.60
A3	0.30	0.50	0.80	1.10	1.40	1.70	1.90	2.20	2.40	2.70	2.90	3.20	3.20	3.90	3.80	4.60	4.60	4.20	5.50	5.60

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A1	6.20	5.70	6.40	6.70	6.20	7.30	7.20	7.40	7.40	8.00	7.10	7.80	8.50	7.60	8.20	8.40	8.10	8.30	8.60	8.50
A2	5.60	6.30	6.20	6.30	7.00	6.30	8.40	6.60	7.10	7.20	8.00	7.80	7.80	8.30	8.20	8.70	8.50	8.60	8.50	9.00
A3	5.60	5.40	5.80	7.20	5.60	6.60	7.00	7.20	7.00	7.30	7.20	8.20	7.30	7.80	8.30	8.60	7.90	8.20	9.00	9.00

間隔 順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
A1	8.00	8.60	8.60	8.60	8.90	8.70	9.00	8.60	9.30	8.60	9.30	9.20	8.60	9.50	8.60	10.00	9.20	8.20	9.60
A2	8.80	8.40	9.00	7.80	9.00	9.00	9.50	7.80	9.20	7.70	8.90	9.20	8.90	8.60	9.50	8.30	9.30	9.20	8.80
A3	8.40	9.50	7.30	10.00	8.80	8.40	9.70	8.40	9.50	9.20	9.00	8.20	9.80	7.90	9.30	8.80	9.50	9.20	9.40

B 實驗(進行三次實驗 B1、B2、B3) 輪直徑高度：2.50cm 障礙物：無
單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B1	0.30	0.60	0.90	1.20	1.30	1.70	2.00	2.20	2.50	2.70	3.00	3.20	3.10	3.90	4.00	4.20	4.30	5.20	4.90	5.40
B2	0.20	0.50	0.90	1.20	1.40	1.60	2.10	2.20	2.20	3.00	3.00	3.50	3.50	4.00	4.20	4.60	4.60	4.80	5.30	4.80
B3	0.30	1.00	1.60	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	3.00	3.30	3.50	3.40	4.00	4.20	4.60	4.70	5.30	5.40	5.80	5.30

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
B1	5.30	5.50	5.70	6.20	5.90	6.10	6.20	6.80	7.00	6.90	7.90	7.20	7.80	7.70	7.90	8.50	8.00	8.00	8.60	8.60
B2	5.80	6.00	5.50	6.50	6.10	6.50	6.60	7.00	6.90	7.20	7.70	7.40	7.20	7.60	8.20	7.80	7.70	8.20	7.50	8.70
B3	6.20	6.00	6.00	6.20	7.00	6.20	6.80	7.00	7.20	6.80	7.00	7.70	7.80	7.00	7.80	7.00	8.00	8.00	8.10	8.30

間隔 順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
B1	8.20	8.80	8.40	9.40	8.80	8.40	8.30	8.40	8.40	8.00	8.60	8.80	7.80	8.00	8.50	8.50	9.00	7.80	8.70	9.60
B2	9.60	7.70	6.60	8.20	9.50	7.50	8.20	9.20	7.70	8.80	9.00	8.50	8.70	8.90	9.30	8.80	8.90	8.70	9.00	9.00
B3	8.00	8.70	8.00	8.30	8.90	8.20	8.80	8.80	8.30	9.00	8.70	8.70	8.90	9.30	8.90	8.60	9.50	8.90	8.40	9.20

C 實驗(進行三次實驗 C1、C2、C3) 輪直徑高度：2.80cm 障礙物：無
單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C1	0.50	0.50	0.80	1.10	1.40	1.80	2.10	2.40	2.60	3.00	3.30	3.60	3.20	4.10	4.30	4.60	4.80	5.00	5.30	5.30
C2	0.20	0.50	0.60	0.80	1.20	1.40	1.70	2.00	2.30	2.60	2.90	2.90	3.30	3.30	4.00	3.80	4.30	4.50	5.00	4.60
C3	0.20	0.30	0.50	0.80	1.20	1.30	1.50	2.00	2.00	2.80	2.80	2.80	3.20	3.40	3.50	3.80	4.20	4.20	4.80	5.20

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
C1	5.80	5.20	6.50	5.70	6.80	6.40	6.30	7.30	6.40	7.30	7.20	7.70	7.20	7.80	7.80	8.20	7.90	8.00	8.80	8.20
C2	5.30	5.20	5.30	5.90	5.80	5.90	6.40	6.20	6.70	6.90	7.00	6.90	8.00	6.40	8.30	7.00	7.60	8.20	7.50	8.20
C3	4.60	5.50	5.50	5.70	6.20	5.60	7.00	5.60	7.00	6.90	6.80	7.90	7.00	7.70	7.80	7.00	8.40	7.30	8.50	8.20

間隔 順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
C1	9.10	8.40	8.60	8.00	9.20	9.40	8.10	8.00	8.10	8.40	8.90	9.20	9.20	8.80	9.70	9.20	9.00	9.10	8.80	9.90
C2	8.40	8.40	8.20	8.00	9.20	8.20	8.60	8.70	9.30	8.60	9.20	9.20	9.80	8.20	9.70	8.80	10.00	9.50	9.30	10.30
C3	7.70	9.80	7.50	8.60	8.40	8.70	8.80	8.40	9.00	8.20	9.70	8.30	9.70	8.80	9.70	8.70	9.90	9.00	9.70	9.40

D 實驗(進行三次實驗 D1、D2、D3) 輪直徑高度：3.10cm 障礙物：無
單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D1	0.40	1.00	1.40	1.70	2.00	2.30	2.50	2.80	3.10	3.70	3.70	4.10	4.10	4.40	4.70	4.70	4.80	5.70	5.10	6.30
D2	0.60	0.60	1.00	1.20	1.60	2.00	2.20	2.60	2.80	3.10	3.50	3.80	4.00	3.80	4.50	5.20	4.30	5.30	5.40	5.90
D3	0.30	0.40	1.00	1.30	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	2.80	3.20	3.30	4.00	3.90	4.20	4.50	4.90	4.90	5.20	5.30

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D1	4.80	7.10	5.30	7.50	5.40	7.00	6.70	7.30	7.10	7.20	8.00	7.90	7.20	7.70	8.50	8.20	8.40	8.20	8.80	8.30
D2	5.50	5.50	6.00	6.60	6.60	6.40	7.50	6.80	7.80	7.60	7.60	7.70	8.00	7.50	7.60	7.60	8.50	7.40	7.80	7.60
D3	5.70	5.80	6.00	6.20	6.70	6.00	7.70	5.90	7.80	7.20	7.80	6.90	8.20	8.20	7.70	8.00	9.00	7.80	8.50	8.00

間隔 順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
D1	8.80	9.00	9.00	8.60	9.10	9.10	9.00	9.90	9.70	9.60	9.90	10.20	8.80	9.00	9.10	8.80	9.70	9.10	9.20	9.20
D2	8.10	8.40	8.80	8.50	8.00	9.20	8.60	8.70	9.20	9.40	9.00	9.70	9.30	9.00	9.80	9.20	8.20	9.50	8.80	8.70
D3	9.30	8.30	8.80	8.90	8.30	8.90	9.20	9.00	9.00	10.00	8.90	9.70	9.90	9.40	10.00	9.70	9.70	9.60	10.00	9.60

二、有障礙物的直線道

A-S 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：A 2.30cm 障礙物：S 0.20cm
單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-S-1	0.30	0.60	0.90	1.30	1.50	1.90	2.20	2.50	2.80	3.10	3.40	3.80	3.90	4.30	4.50	4.40	5.00	5.30	4.90	5.30
A-S-2	0.10	0.30	0.80	1.20	1.50	1.80	2.10	2.30	2.70	3.00	3.30	3.70	3.80	4.00	4.40	4.70	5.10	5.10	5.40	5.30
A-S-3	0.10	0.20	0.40	1.60	1.80	2.30	2.30	2.70	3.10	3.30	3.80	3.80	4.10	4.40	4.70	5.00	5.10	5.10	4.80	5.00

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-S-1	5.30	4.70	5.20	5.80	5.50	5.60	6.00	6.30	6.20	6.70	6.80	6.50	7.20	7.60	6.40	7.00	7.50	7.40	7.10	7.50
A-S-2	5.10	5.20	4.90	4.90	5.40	5.10	6.80	5.50	6.70	5.50	6.80	7.30	6.80	6.30	7.30	7.90	7.00	7.70	7.10	7.80
A-S-3	3.80	4.50	5.50	4.00	5.30	5.00	5.00	6.30	5.10	6.00	6.20	6.50	6.20	5.70	6.50	7.40	6.30	6.70	7.80	6.50

A-M 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：A 2.30cm 障礙物：M 0.40cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-M-1	0.20	0.40	0.70	1.20	1.20	1.70	2.00	2.30	2.60	3.00	3.40	3.40	4.00	3.90	4.50	4.80	5.10	5.60	5.50	4.40
A-M-2	0.50	0.80	0.70	1.40	1.70	2.00	2.30	2.50	2.90	3.10	3.40	3.80	3.80	4.00	4.00	4.50	4.80	5.10	5.20	3.50
A-M-3	0.50	0.90	1.20	1.40	1.70	1.80	2.30	2.50	2.90	3.10	3.40	3.60	4.20	4.40	4.30	4.50	4.40	5.70	4.30	5.40

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-M-1	5.20	3.80	4.20	3.40	4.00	4.60	4.80	4.30	5.70	5.30	5.00	6.30	5.50	6.30	6.90	6.20	6.50	7.50	6.00	6.80
A-M-2	4.10	3.50	2.80	3.40	4.30	3.50	4.40	4.10	5.40	4.70	5.10	5.10	5.40	5.90	5.80	6.60	5.80	6.60	6.30	7.50
A-M-3	3.00	4.20	2.80	3.30	3.90	3.90	4.30	4.10	4.80	4.80	4.50	5.50	5.80	5.30	5.90	6.40	5.80	6.50	6.00	6.80

A-L 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：A 2.30cm 障礙物：L 0.60cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-L-1	0.20	0.50	0.50	1.00	1.30	1.70	2.00	2.30	2.80	2.90	3.20	3.80	3.70	4.40	4.80	4.60	5.60	4.90	5.50	3.30
A-L-2	0.10	0.50	0.90	1.20	1.10	1.90	2.20	2.70	2.90	3.20	3.30	3.90	4.00	4.20	4.50	4.80	5.20	5.40	4.20	3.70
A-L-3	0.10	0.20	1.00	1.60	1.90	2.00	2.60	2.80	3.00	3.50	3.50	3.70	4.30	4.30	4.50	4.60	4.50	3.80	3.10	2.60

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-L-1	4.40	3.00	1.60	2.10	3.10	3.40	3.40	3.60	4.00	4.30	4.20	5.50	4.40	5.20	5.80	6.30	5.50	6.50	6.20	6.40
A-L-2	3.90	2.00	2.60	2.30	3.00	3.80	4.20	3.40	4.30	4.10	4.80	4.70	5.80	5.10	5.20	5.50	5.80	6.20	6.40	5.40
A-L-3	2.30	2.20	0.30	0.70	2.20	1.00	1.20	1.20	2.70	2.70	2.90	3.20	3.20	3.70	4.00	4.30	4.50	5.00	5.10	4.40

B-S 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：B 2.50cm 障礙物：S 0.20cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B-S-1	0.30	0.90	1.20	1.40	1.80	2.20	2.20	2.70	2.80	3.30	3.50	3.70	4.00	4.20	4.40	5.10	4.80	5.30	5.20	4.80
B-S-2	0.30	0.90	1.00	1.50	1.80	2.20	2.30	2.70	3.00	3.00	3.20	3.40	3.70	4.00	4.20	4.60	5.10	4.60	5.30	4.80
B-S-3	0.30	0.60	1.00	1.20	1.50	1.80	2.20	2.40	2.80	3.00	3.20	3.40	3.80	3.90	4.20	4.50	4.80	5.30	5.10	5.20

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
B-S-1	5.20	5.60	4.60	5.90	5.30	5.30	5.50	5.50	6.20	6.00	6.50	6.70	6.10	7.70	6.50	6.90	7.40	7.20	7.40	7.30
B-S-2	5.20	5.60	3.20	4.40	5.00	4.40	4.40	5.40	5.20	6.00	5.50	5.80	5.30	6.00	6.20	6.30	6.20	6.50	6.90	6.40
B-S-3	4.80	5.10	5.70	4.40	2.90	4.70	4.70	4.60	5.00	5.50	5.40	5.80	5.20	6.10	6.50	6.00	6.20	6.30	6.50	7.30

B-M 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：B 2.50cm 障礙物：M 0.40cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B-M-1	0.30	1.70	1.10	1.40	1.70	1.90	2.20	2.50	2.80	3.00	3.30	3.70	3.70	4.20	4.40	4.50	5.00	5.00	4.80	4.30
B-M-2	0.10	0.10	1.00	1.30	1.70	2.00	2.20	2.40	2.80	3.00	3.30	3.60	4.20	3.80	4.50	4.60	4.70	5.20	5.50	3.40
B-M-3	0.50	0.80	1.00	1.40	1.70	2.00	2.30	2.30	2.30	3.00	3.70	3.30	4.00	3.80	4.20	4.20	4.30	4.50	4.90	3.90

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
B-M-1	4.30	3.40	3.40	3.40	4.10	4.00	4.00	4.40	4.60	4.80	5.50	5.00	5.10	5.20	6.50	5.20	7.10	5.20	6.10	6.90
B-M-2	4.30	3.60	3.60	3.00	3.50	3.50	3.00	3.80	4.00	4.40	4.00	4.70	5.20	5.50	5.40	5.50	5.90	6.40	5.00	6.30
B-M-3	4.30	3.20	2.80	3.20	3.70	4.10	4.30	4.30	5.30	4.50	5.20	5.70	5.40	6.20	6.10	5.90	6.70	6.40	7.30	6.50

B-L 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：B 2.50cm 障礙物：L 0.60cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B-L-1	0.90	1.10	1.40	1.60	2.00	2.10	2.40	2.70	2.80	3.00	3.30	3.40	3.70	3.70	4.20	4.30	4.40	4.40	3.20	3.20
B-L-2	0.10	0.60	0.90	1.30	1.70	1.90	2.30	2.50	2.70	3.10	3.30	3.90	3.60	4.20	4.80	4.30	5.00	5.70	3.30	4.30
B-L-3	0.30	0.40	0.70	1.40	1.80	2.00	2.20	2.50	2.80	3.10	3.50	3.50	4.40	4.40	4.50	4.30	5.20	5.10	3.10	4.30

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
B-L-1	2.80	3.00	1.30	2.00	2.20	2.20	2.70	2.80	3.10	3.70	3.60	3.80	4.40	4.50	4.80	4.90	5.10	5.20	5.50	6.00
B-L-2	3.20	3.00	2.70	1.90	2.30	3.00	2.80	2.40	3.00	2.90	3.30	3.80	4.00	4.50	4.40	5.00	4.60	5.40	5.20	5.60
B-L-3	2.80	2.40	1.70	2.50	3.00	1.70	2.30	2.70	2.70	3.20	3.20	4.00	3.20	4.00	4.20	4.50	5.50	4.40	5.20	4.90

C-S 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：C 2.80cm 障礙物：S 0.20cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C-S-1	0.30	0.30	0.90	1.40	1.70	1.90	2.20	2.60	2.80	3.00	3.40	3.60	3.90	4.10	4.30	5.10	4.30	5.30	5.20	4.60
C-S-2	0.10	0.20	0.80	1.20	1.50	1.80	2.20	2.30	2.70	2.90	3.50	3.50	4.20	3.90	4.70	4.40	5.00	4.50	5.50	5.20
C-S-3	0.30	0.70	1.20	1.30	1.80	2.10	2.30	2.60	3.00	3.20	3.90	3.50	3.80	4.20	4.40	4.80	4.80	4.90	5.00	5.40

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
C-S-1	5.90	3.80	5.10	5.20	5.20	5.70	5.40	5.50	5.90	6.60	5.60	6.10	6.40	6.90	6.20	6.80	7.60	6.20	7.70	7.20
C-S-2	5.30	5.40	4.80	4.80	5.40	5.20	5.50	5.80	6.00	6.20	5.80	7.00	5.80	6.50	6.70	7.60	6.70	7.50	7.00	8.00
C-S-3	4.90	5.20	5.30	5.00	5.70	6.20	6.00	6.30	6.00	7.10	6.90	7.00	6.30	9.00	5.70	7.20	6.30	8.40	6.60	7.30

C-M 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：C 2.80cm 障礙物：M 0.40cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C-M-1	0.30	1.00	1.30	1.50	1.80	2.00	2.30	2.70	2.80	3.00	3.20	3.70	3.70	4.00	4.10	4.60	4.40	5.30	4.80	4.20
C-M-2	0.40	0.50	0.80	1.20	1.60	1.80	2.30	2.60	2.70	3.00	3.50	3.70	3.80	4.20	4.70	5.20	4.80	5.20	5.20	4.90
C-M-3	0.20	0.80	1.00	1.30	1.80	2.00	2.30	2.80	3.20	3.20	3.40	3.50	4.20	4.30	4.50	4.50	5.00	6.20	3.50	4.50

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
C-M-1	3.80	3.80	3.40	3.80	4.60	4.70	4.40	5.20	5.20	5.30	6.40	5.00	6.00	5.80	7.20	5.80	7.00	6.80	6.80	6.50
C-M-2	4.70	3.30	4.00	3.70	5.00	4.80	5.40	4.80	5.90	5.80	5.80	6.40	6.20	6.40	6.70	6.60	7.20	6.60	8.50	6.70
C-M-3	3.50	3.80	3.30	3.40	4.00	3.70	3.40	3.90	4.40	5.50	4.50	5.30	5.00	5.50	5.50	5.70	5.80	6.00	6.00	6.20

C-L 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：C 2.80cm 障礙物：L 0.60cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C-L-1	0.10	0.50	0.90	1.20	1.60	1.90	2.20	2.60	2.80	3.20	3.50	3.60	3.80	4.70	4.30	4.50	4.70	5.30	4.20	4.80
C-L-2	0.10	0.40	0.40	1.30	1.70	1.80	2.20	2.40	2.70	3.00	3.40	3.40	4.00	4.00	4.30	4.60	4.50	5.10	5.00	3.80
C-L-3	0.20	0.70	1.10	1.30	1.80	2.00	2.50	2.60	3.20	3.00	3.60	3.80	4.30	4.30	4.50	4.20	5.00	5.00	4.50	3.80

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
C-L-1	3.40	3.80	2.70	2.60	3.20	3.80	3.70	4.70	4.30	5.20	4.60	5.20	6.10	5.00	6.30	6.00	6.20	6.90	6.40	6.70
C-L-2	3.70	3.10	2.70	3.30	1.80	3.20	3.20	2.80	3.80	2.80	4.50	3.10	4.90	4.50	4.50	5.00	6.10	5.00	5.50	5.80
C-L-3	3.70	2.80	2.20	2.90	3.50	2.70	3.00	3.80	4.10	4.30	4.30	4.80	4.50	5.50	6.40	5.50	6.30	5.40	7.00	5.80

D-S 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：D 3.10cm 障礙物：S 0.20cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D-S-1	0.20	0.80	1.10	1.40	1.80	1.90	2.30	2.50	2.70	3.20	3.40	3.80	3.80	4.30	4.20	4.80	4.70	5.00	5.10	5.20
D-S-2	0.20	0.50	0.90	1.50	2.00	2.20	2.40	2.80	3.00	3.30	3.60	3.70	4.00	4.20	4.50	5.00	5.20	4.80	4.40	5.50
D-S-3	0.50	0.80	1.20	1.50	1.80	2.00	2.40	2.70	2.90	3.00	3.20	3.50	3.60	3.80	4.00	4.20	4.30	4.60	4.80	4.70

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D-S-1	4.90	5.20	5.10	3.20	5.70	5.30	5.20	6.20	6.30	6.20	6.30	6.80	7.20	6.50	6.80	7.60	7.10	8.70	6.50	8.30
D-S-2	4.60	4.80	4.50	4.70	5.30	5.20	5.30	5.40	5.50	5.20	5.60	6.30	5.00	5.80	5.80	6.40	6.70	6.60	7.50	6.70
D-S-3	4.50	4.50	4.60	4.00	4.50	5.00	5.20	4.80	5.00	5.40	5.70	6.20	5.60	5.30	7.40	5.60	6.30	6.20	7.60	6.30

D-M 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：D 3.10cm 障礙物：M 0.40cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D-M-1	0.30	0.80	1.10	1.50	1.70	2.10	2.30	2.80	2.90	3.30	3.50	3.70	3.80	4.20	4.30	4.80	4.80	5.00	5.10	4.40
D-M-2	0.30	0.50	0.90	1.30	1.60	1.80	2.30	2.40	2.80	3.40	3.40	3.70	4.30	3.40	5.40	4.00	4.80	5.80	3.90	5.40
D-M-3	0.20	0.70	0.90	1.30	1.60	2.00	2.20	2.60	2.80	3.10	3.40	4.10	3.80	4.30	4.50	4.60	5.30	4.90	4.40	4.90

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D-M-1	4.80	3.90	3.70	4.10	4.40	4.50	5.50	4.50	5.20	5.30	6.30	5.40	6.00	6.20	6.40	7.10	6.30	7.00	7.70	6.30
D-M-2	4.40	3.70	4.20	3.70	3.70	4.30	4.70	5.00	4.70	5.00	5.20	5.70	5.50	5.70	5.50	6.00	6.00	6.70	5.80	6.00
D-M-3	4.40	4.00	4.00	4.50	4.00	4.80	5.20	5.50	5.50	5.50	5.50	5.90	7.20	5.60	6.40	6.90	6.40	7.30	7.10	6.50

D-L 實驗 (進行三次實驗) 輪直徑高度：D 3.10cm 障礙物：L 0.60cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D-L-1	0.20	0.30	1.00	1.20	1.50	1.80	2.30	2.40	2.70	3.00	3.40	3.60	3.90	4.20	4.60	4.80	4.80	5.50	5.30	3.70
D-L-2	0.10	0.20	0.30	1.00	1.40	1.40	1.80	1.90	2.80	3.10	4.00	3.40	4.80	3.30	4.60	4.70	5.00	5.40	4.80	4.50
D-L-3	0.20	0.50	0.80	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.00	3.50	3.80	4.00	4.00	4.90	4.30	5.50	4.80	3.80

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D-L-1	4.00	3.80	3.30	2.90	2.50	3.70	2.60	3.50	3.50	3.50	3.00	4.10	4.60	4.60	4.70	5.30	4.90	5.30	5.70	5.60
D-L-2	4.00	4.00	2.70	2.60	2.80	4.60	3.80	4.90	4.50	5.00	5.20	5.60	5.90	5.90	6.50	6.80	6.80	6.50	7.40	7.40
D-L-3	4.00	3.50	3.10	2.50	2.40	3.30	2.70	3.00	2.90	3.90	3.60	4.00	4.20	5.50	3.80	5.50	4.80	5.60	5.80	6.00

陸、討論

因為在實驗中所得到的數據非常多，所以我們將每組操作的三次實驗求平均值整理好，再用電腦軟體繪出速度-時間關係圖。

直線道實驗數據整理如下表

輪直徑高度：A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm 障礙物：無

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	0.30	0.47	0.97	1.23	1.50	1.80	2.07	2.33	2.57	3.00	3.13	3.50	3.87	4.20	4.23	4.83	4.77	5.13	5.43	5.73
B	0.27	0.70	1.13	1.40	1.57	1.83	2.20	2.37	2.57	3.00	3.17	3.37	3.53	4.03	4.27	4.50	4.73	5.13	5.33	5.17
C	0.30	0.43	0.63	0.90	1.27	1.50	1.77	2.13	2.30	2.80	3.00	3.10	3.23	3.60	3.93	4.07	4.43	4.57	5.03	5.03
D	0.43	0.67	1.13	1.40	1.70	2.03	2.27	2.60	2.87	3.20	3.47	3.73	4.03	4.03	4.47	4.80	4.67	5.30	5.23	5.83

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A	5.80	5.80	6.13	6.73	6.27	6.73	7.53	7.07	7.17	7.50	7.43	7.93	7.87	7.90	8.23	8.57	8.17	8.37	8.70	8.83
B	5.77	5.83	5.73	6.30	6.33	6.27	6.53	6.93	7.03	6.97	7.53	7.43	7.60	7.43	7.97	7.77	7.90	8.07	8.07	8.53
C	5.23	5.30	5.77	5.77	6.27	5.97	6.57	6.37	6.70	7.03	7.00	7.50	7.40	7.30	7.97	7.40	7.97	7.83	8.27	8.20
D	5.33	6.13	5.77	6.77	6.23	6.47	7.30	6.67	7.57	7.33	7.80	7.50	7.80	7.80	7.93	7.93	8.63	7.80	8.37	7.97

間隔 順序	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
A	8.40	8.83	8.30	8.80	8.90	8.70	9.40	8.27	9.33	8.50	9.07	8.87	9.10	8.67	9.13	9.03	9.33	8.87	9.27	
B	8.60	8.40	7.67	8.63	9.07	8.03	8.43	8.80	8.13	8.60	8.77	8.67	8.47	8.73	8.90	8.63	9.13	8.47	8.70	9.27
C	8.40	8.87	8.10	8.20	8.93	8.77	8.50	8.37	8.80	8.40	9.27	8.90	9.57	8.60	9.70	8.90	9.63	9.20	9.27	9.87
D	8.73	8.57	8.87	8.67	8.47	9.07	8.93	9.20	9.30	9.67	9.27	9.87	9.33	9.13	9.63	9.23	9.20	9.40	9.33	9.17

表 6-1 直線道實驗數據平均值整理

表 6-1 中的數值為打點計時器每兩點間的位移平均值，應該要再除以每個間隔時間 0.03 秒，才能求出每兩點間的平均速度，但是我們比較需要討論第幾個點發生什麼事。

所以，以下的圖形，我們都假設每個時間間隔為 1 秒，因此 X 軸座標上的數值即代表時間，也可以代表第幾個點；Y 軸座標上的數值即為表 6-1 中的數字，為每組三個實驗的平均值，除以時間 1 秒後，也可以代表兩點間的平均速度，若是需要真正的速度值，會再另外換算。

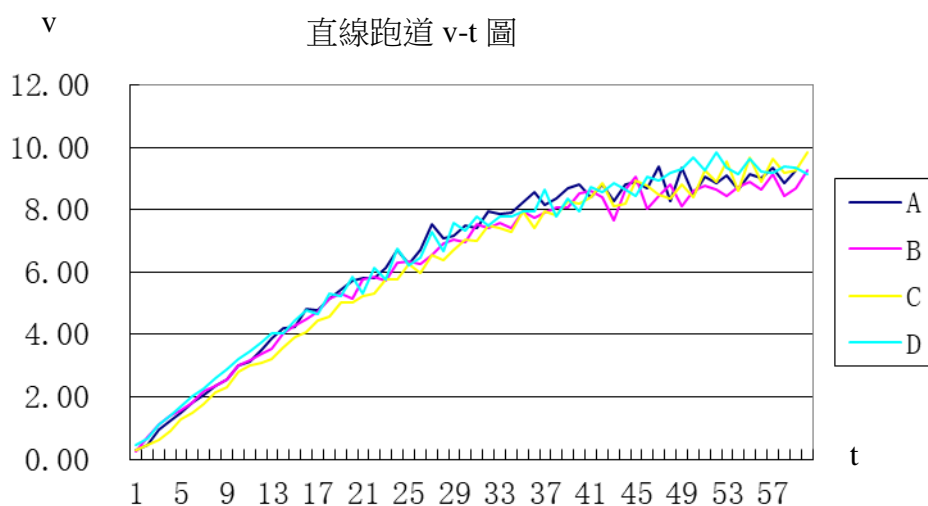


圖 6-1 A-D 不同直徑的輪子在直線道上的運動情形

在操作實驗前，我們一直覺得輪徑小的 A 組會有比較快的起跑加速，但最高速度會較慢；而輪徑大的 D 組加速比較慢，但最高速度會較快。實驗結果另人意想不到，從圖 6-1 中，我們可以看到 A~D 四組的線幾乎是相同的，無論是第 50 點前的加速度，還是 50~60 點線趨平緩，代表達到最高速度，都相差不多。

我們討論後的結論是：因為我們在實驗中所使用的電壓相同，也是相同的馬達，所以雖然以簡單機械輪軸的觀點來看，輪和軸比例不同會有省力、費力上的不同，但是簡單機械無法省功（能量），所以輸入相同的電能，轉換出來的動能也會相同，又因為每組四驅車的質量也都幾乎相同，所以加速度、末速度也會相同，數據如表 6-2。

組別	第1-50點平均加速度 $\frac{m}{s^2}$	第60點末速度 $\frac{m}{s}$
A	1.82	3.09
B	1.85	3.09
C	1.80	3.29
D	2.05	3.06

表 6-2 換算後的加速度及末速度

四驅車雖然小，但是末速度可以跑到每秒三公尺多，真的很快。

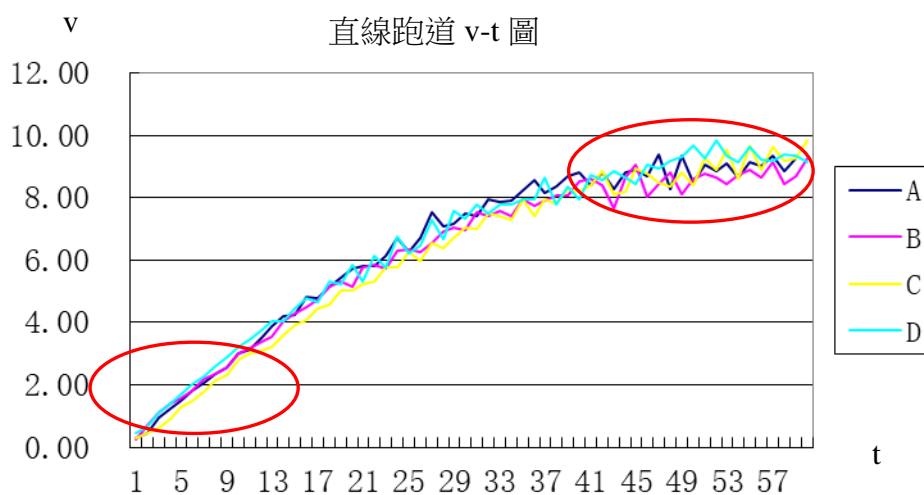



圖 6-2 比較圖 6-1 中的誤差問題

接下來我們來討論圖 6-1 中誤差的問題，在圖 6-2 中，可以明顯看到在第 40 點之後，有上下鋸齒的情形，為什麼會有這樣的誤差？而在第 20 點之前卻比較沒有這種現象？

我們推測是因為打點計時器造成的誤差。若是在實驗中產生額外的阻力，v-t 圖會

是  這種情形，下降後再緩慢上升。但是在圖中是  這種情形，找

不到原因的忽快忽慢。所以我們推測是打點計時器在打點時，紙張因為高速被拉動，打點器打到紙帶上時，雖然接觸時間很短，但也被拉到振動，產生打點的不規律，造成一些誤差。

最後，我們操作實驗一的結果，還可以幫助我們來設定實驗二中障礙物的位置，在實驗二中，我們在直線道上設立障礙物，想知道不同大小的輪子在越過障礙物時的差異，但是唯一的操縱變因應為輪子直徑大小，四驅車在遇到障礙物時的速度應要控制為相同。從實驗一的結果可以知道，A~D 四組輪子加速度應相同，所以實驗二中的障礙物我們設在離起點 50cm 處，每組實驗中的四驅車行駛到此時也應有相同的速度，而不用每組實驗的障礙物都設定不同的距離。

接下來，我們一樣將實驗二中的數據平均值整理好，再繪製成速度-時間關係圖。

有障礙物直線道實驗數據整理如下表

S 組實驗

輪直徑高度：A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm 障礙物：S 0.20cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-S	0.17	0.37	0.70	1.37	1.60	2.00	2.20	2.50	2.87	3.13	3.50	3.77	3.93	4.23	4.53	4.70	5.07	5.17	5.03	5.20
B-S	0.30	0.80	1.07	1.37	1.70	2.07	2.23	2.60	2.87	3.10	3.30	3.50	3.83	4.03	4.27	4.73	4.90	5.07	5.20	4.93
C-S	0.23	0.40	0.97	1.30	1.67	1.93	2.23	2.50	2.83	3.03	3.60	3.53	3.97	4.07	4.47	4.77	4.70	4.90	5.23	5.07
D-S	0.30	0.70	1.07	1.47	1.87	2.03	2.37	2.67	2.87	3.17	3.40	3.67	3.80	4.10	4.23	4.67	4.73	4.80	4.77	5.13

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-S	4.73	4.80	5.20	4.90	5.40	5.23	5.93	6.03	6.00	6.07	6.60	6.77	6.73	6.53	6.73	7.43	6.93	7.27	7.33	7.27
B-S	5.07	5.43	4.50	4.90	4.40	4.80	4.87	5.17	5.47	5.83	5.80	6.10	5.53	6.60	6.40	6.40	6.60	6.67	6.93	7.00
C-S	5.37	4.80	5.07	5.00	5.43	5.70	5.63	5.87	5.97	6.63	6.10	6.70	6.17	7.47	6.20	7.20	6.87	7.37	7.10	7.50
D-S	4.67	4.83	4.73	3.97	5.17	5.17	5.23	5.47	5.60	5.60	5.87	6.43	5.93	5.87	6.67	6.53	6.70	7.17	7.20	7.10

表 6-3 S 組實驗數據平均值整理

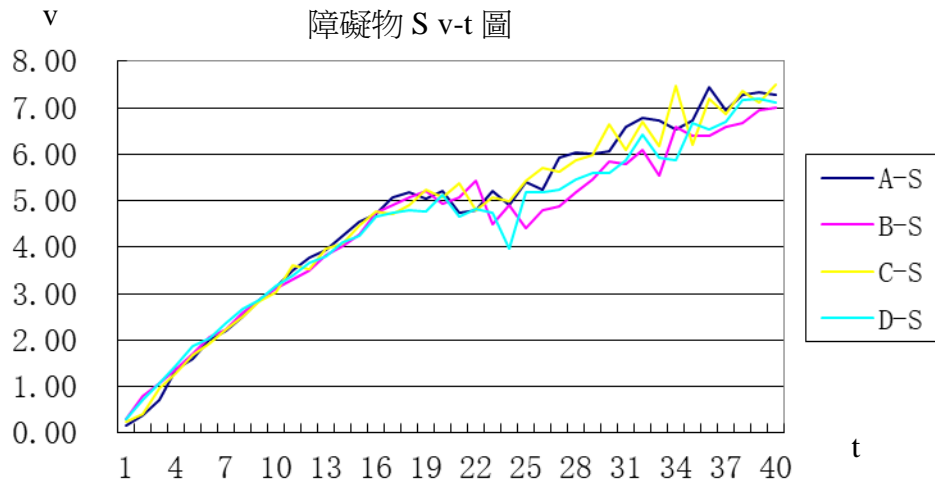


圖 6-3 A-D 四組輪子越過障礙物 S 時的圖形

我們在 A-D 四組輪子越過障礙物 S:0.20cm 的這組實驗中可以看到，在大約第 17 個點（我們也可以將數據中 1-17 個點的位移相加，也大約是 50cm，即是我們設立障礙物的距離），可以看到速度有下降的情形，表示障礙物 S 對四驅車的前進有造成影響。但是，可能因為障礙物 S 的高度太低，所以在圖 6-3 中，看不太出對哪一種大小的輪子有比較明顯的影響，在障礙物 S 的這組實驗中，誤差值較大。

M 組實驗

輪直徑高度：A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm 障礙物：M 0.40cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-M	0.40	0.70	0.87	1.33	1.53	1.83	2.20	2.43	2.80	3.07	3.40	3.60	4.00	4.10	4.27	4.60	4.77	5.47	5.00	4.43
B-M	0.30	0.87	1.03	1.37	1.70	1.97	2.23	2.40	2.63	3.00	3.43	3.53	3.97	3.93	4.37	4.43	4.67	4.90	5.07	3.87
C-M	0.30	0.77	1.03	1.33	1.73	1.93	2.30	2.70	2.90	3.07	3.37	3.63	3.90	4.17	4.43	4.77	4.73	5.57	4.50	4.53
D-M	0.27	0.67	0.97	1.37	1.63	1.97	2.27	2.60	2.83	3.27	3.43	3.83	3.97	3.97	4.73	4.47	4.97	5.23	4.47	4.90

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-M	4.10	3.83	3.27	3.37	4.07	4.00	4.50	4.17	5.30	4.93	4.87	5.63	5.57	5.83	6.20	6.40	6.03	6.87	6.10	7.03
B-M	4.30	3.40	3.27	3.20	3.77	3.87	3.77	4.17	4.63	4.57	4.90	5.13	5.23	5.63	6.00	5.53	6.57	6.00	6.13	6.57
C-M	4.00	3.63	3.57	3.63	4.53	4.40	4.40	4.63	5.17	5.53	5.57	5.57	5.73	5.90	6.47	6.03	6.67	6.47	7.10	6.47
D-M	4.53	3.87	3.97	4.10	4.03	4.53	5.13	5.00	5.13	5.27	5.67	5.67	6.23	5.83	6.10	6.67	6.23	7.00	6.87	6.27

表 6-4 M 組實驗數據平均值整理

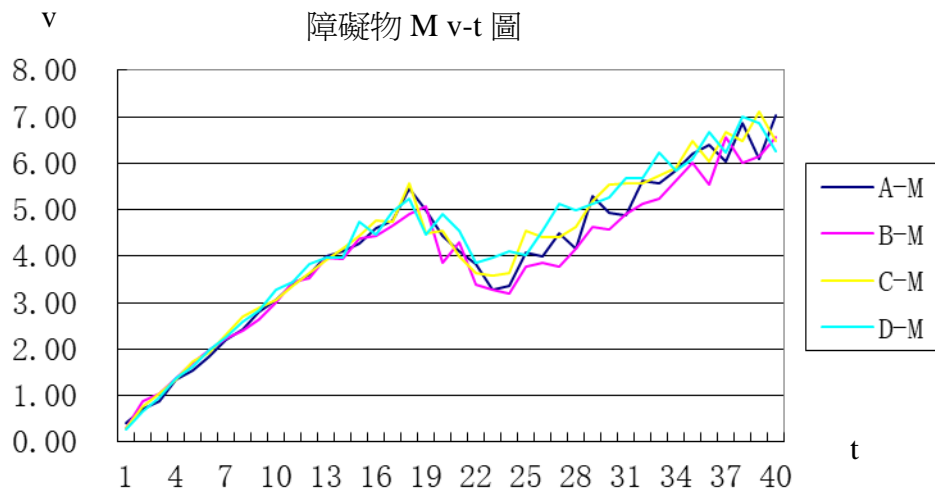


圖 6-4 A-D 四組輪子越過障礙物 M 時的圖形

由圖 6-4 中可以看出在 A~D 四組輪子越過障礙物 M:0.40cm 時，有較明顯一些的區別了，較小的輪子受到的阻力比較大些，所以速度下降較多；而 C、D 兩組較大的輪子，受障礙物影響較小些。

由圖中也可以看出，速度下降最多的範圍大約是在第 17~23 個點間，我們在最後會再計算每組實驗在這區間的加速度變化。

L 組實驗

輪直徑高度：A:2.30cm、B:2.50cm、C:2.80cm、D:3.10cm 障礙物：L 0.60cm

單位:cm 間隔時間:0.03 秒

間隔 順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-L	0.13	0.40	0.80	1.27	1.43	1.87	2.27	2.60	2.90	3.20	3.33	3.80	4.00	4.30	4.60	4.67	5.10	4.70	4.27	3.20
B-L	0.43	0.70	1.00	1.43	1.83	2.00	2.30	2.57	2.77	3.07	3.37	3.60	3.90	4.10	4.50	4.30	4.87	5.07	3.20	3.93
C-L	0.13	0.53	0.80	1.27	1.70	1.90	2.30	2.53	2.90	3.07	3.50	3.60	4.03	4.33	4.37	4.43	4.73	5.13	4.57	4.13
D-L	0.17	0.33	0.70	1.13	1.47	1.67	2.07	2.23	2.73	3.03	3.47	3.50	4.17	3.83	4.40	4.80	4.70	5.47	4.97	4.00

間隔 順序	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
A-L	3.53	2.40	1.50	1.70	2.77	2.73	2.93	2.73	3.67	3.70	3.97	4.47	4.47	4.67	5.00	5.37	5.27	5.90	5.90	5.40
B-L	2.93	2.80	1.90	2.13	2.50	2.30	2.60	2.63	2.93	3.27	3.37	3.87	3.87	4.33	4.47	4.80	5.07	5.00	5.30	5.50
C-L	3.60	3.23	2.53	2.93	2.83	3.23	3.30	3.77	4.07	4.10	4.47	4.37	5.17	5.00	5.73	5.50	6.20	5.77	6.30	6.10
D-L	4.00	3.77	3.03	2.67	2.57	3.87	3.03	3.80	3.63	4.13	3.93	4.57	4.90	5.33	5.00	5.87	5.50	5.80	6.30	6.33

表 6-5 L 組實驗數據整理

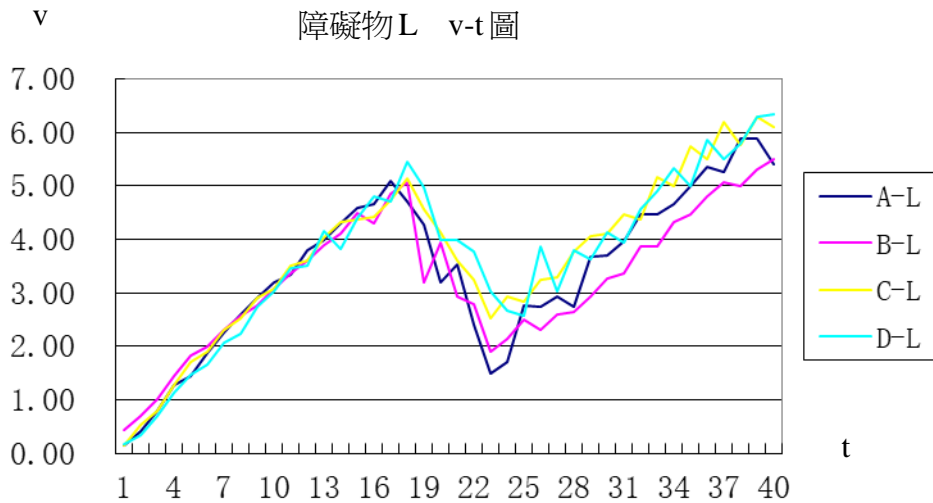


圖 6-5 A~D 四組輪子越過障礙物 L 時的圖形

在圖 6-5 中可以看出在 A~D 四組輪子越過障礙物 L:0.60cm 時，有更明顯的區別，最小的輪子 A 受到的阻力最大，在第 23 個點時位移平均值只有 1.50cm；而同為第 23 個點時，輪子 D 位移平均值還有 3.03cm，差異頗大。

接下來，我們來計算速度下降最多的第 17~23 個點間，每組加速度的變化值。

	第17間隔 位移 (cm)	第23間隔 位移 (cm)	第17間隔 速度 (cm/s)	第23間隔 速度 (cm/s)	17~23加速度 (cm/s ²)
A	5.13	6.73	17.11	22.44	3.56
B	4.73	5.73	15.78	19.11	2.22
C	4.57	5.77	15.22	19.22	2.67
D	4.67	5.77	15.56	19.22	2.44
A-S	5.07	5.20	16.89	17.33	0.30
B-S	4.90	4.50	16.33	15.00	-0.89
C-S	4.70	5.07	15.67	16.89	0.81
D-S	4.73	4.73	15.78	15.78	0.00
A-M	4.77	3.27	15.89	10.89	-3.33
B-M	4.67	3.27	15.56	10.89	-3.11
C-M	4.73	3.57	15.78	11.89	-2.59
D-M	4.97	3.97	16.56	13.22	-2.22
A-L	5.10	1.50	17.00	5.00	-8.00
B-L	4.87	1.90	16.22	6.33	-6.59
C-L	4.73	2.53	15.78	8.44	-4.89
D-L	4.70	3.03	15.67	10.11	-3.70

表 6-6 每組在第 17~23 個點間加速度值

在表 6-6 中可以看到，在沒有障礙物的 A~D 四組實驗中，加速度大都在 $2 \text{ cm/s}^2 \sim 3 \text{ cm/s}^2$ 之間，A 組在第 17~23 個點間的加速度值有較高，誤差較大些，但我們仍可以從圖 6-1 中看出，若是看整個實驗過程，四組的加速度值還是非常相近的。

然後在 A-S~D-S 四組實驗中，因為障礙物只有 0.2mm 高，所以無法產生很大的阻力，只能大概抵消馬達的推力，沒有很明顯的減速，而且也無法比較出輪子大小和障礙物間的關係。

在 A-M~D-M 四組實驗中，障礙物升高到 0.4mm，就可以很清楚的看出輪子較小的 A 加速度值最大，而輪子最大的 D 則加速度最小，代表受障礙物的影響最小，且在表 6-6 中，加速度的數據呈現隨輪子增大有遞減的情形。

最後，在障礙物最高的 0.6mm 這組實驗中，這個現象更明顯，輪子最小的 A 和輪子最大的 D 其加速度甚至相差超過 2 倍。

所以，我們可以推斷，輪子較大，受障礙物高度影響產生的阻力較小；障礙物越高，對輪子產生的阻力越大。

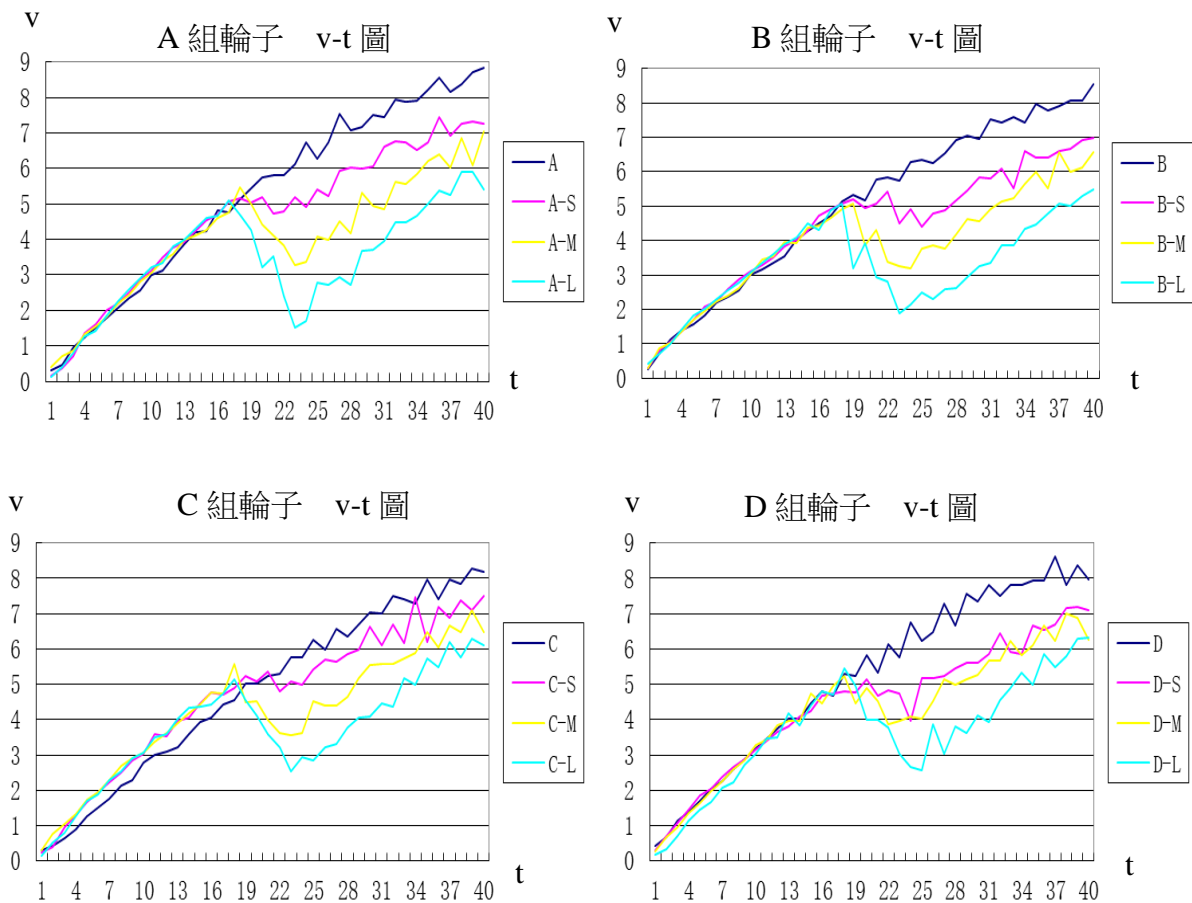


圖 6-6 各組輪子在不同障礙物中的比較

在圖 6-6 中，相同的輪子直徑在不同障礙物比較中可以看到很明顯的變化，障礙物高度越高，產生的阻力越大，四驅車的速度下降也越多。

我們討論了這個問題，有沒有方法可以更合理的來解釋這個現象？在問過老師和上網找答案後，我們有以下的推測：



圖 6-7 輪子在越過障礙時，轉動的受力情形

在圖 6-7 中，右側的圖形障礙物高度較左側圖形高，支點如圖中三角形所示，造成右圖的力臂也較短，在四驅車前進時，一定要有施力，才能造成輪子滾動，越過障礙物，也代表如果障礙物越高，要越過障礙物也需要更多的力，四驅車的速度就會減

慢的越多，造成和前進方向相反的加速度也越大。

已知

轉動的效果稱為力矩，力矩 = 施力 × 力臂^[7]

因此，力臂是關鍵，力臂越短，需要的施力越大，加速度的數值就會越大，減速的情形會更明顯。

	每組力臂 (cm)	第17~23個間隔 加速度 (cm/s ²)	力臂×加速度
A-S	0.95	0.30	0.28
B-S	1.05	-0.89	-0.93
C-S	1.20	0.81	0.98
D-S	1.35	0.00	0.00
A-M	0.75	-3.33	-2.50
B-M	0.85	-3.11	-2.64
C-M	1.00	-2.59	-2.59
D-M	1.15	-2.22	-2.56
A-L	0.55	-8.00	-4.40
B-L	0.65	-6.59	-4.29
C-L	0.80	-4.89	-3.91
D-L	0.95	-3.70	-3.52

表 6-7 力臂和加速度關係

在表 6-7 中，我們把每組的力臂計算出來，再列出實驗中測得的加速度值，想要找到兩者之間的關係。在表中除了 S 組的數據較沒有規律性外，在 M 和 L 兩組中，可以看出力臂越短，加速度的數值就會越大，我們試著將力臂 × 加速度，可以看到每組數值相近，其中可能有反比的關係如圖 6-8，當然還有很多要考慮的因素在內，應該可以再做更深入的實驗來研究。

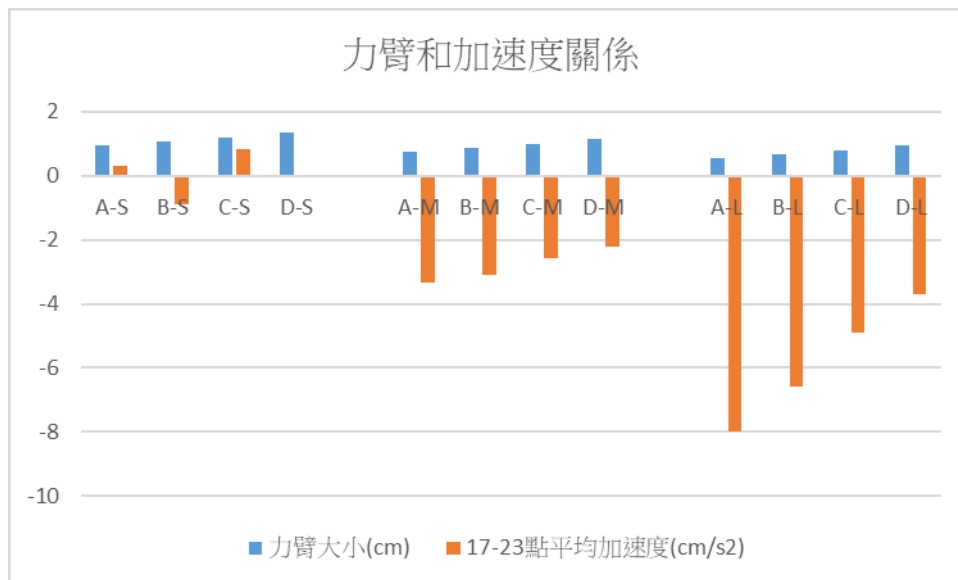


圖 6-8 力臂大小和加速度間關係

最後，來討論我們一開始的問題：

到底輪子的大小不同時會對車子的行駛有什麼樣的影響，在遇到障礙物時又對哪種輪子較有利，損耗能量會較少？

在直線行駛時，輪胎大小要考量車輛的動力性能，動力小的車即使換了大輪胎，那也會因為動力不足而跑不動，動力大的車如果輪胎太小也會限制動力的輸出，使速度也無法提升^[8]。在我們的實驗中，因為動力大小是固定的，也沒有汽車的變速箱來改變齒輪比，所以輪胎的直徑大小沒有對車子的加速度或最高速度造成影響。也就是電池的輸出電能一定情形下，轉換成車子的動能也會相同。

在車子越過障礙物時，直徑大的輪胎優勢就比較明顯了，穩定性和舒適性好。輪子越大，壓過一塊相同大小的石頭，受到的影響就越小，通過性越好，舒適性越好。這點在我們的實驗也可以得到相同的結果。因此，輪子直徑大，的確較有利，損耗的能量少，直線前進時車子也比較穩。但是，也不是所有車子都可以裝大輪子，也要看車子本身的設計，而且輪子越大，車身會越高，也不利轉彎，容易因向心力不足而翻車，輪子大也會越重，會使車子的摩擦力增加，耗能也會提高。所以，還是要考量車子的功能性和設計，來搭配適合的輪子。

柒、結論

在實驗中，我們發現：

- 1.在直線道時，若固定輪子厚度、動力來源、車子質量時，輪子直徑的大小對四驅車的加速度和最高速度沒有影響。
- 2.輪子直徑較大時，受障礙物高度影響產生的阻力較小，即代表直徑大的輪子越過障礙物的效果較好。
- 3.相同直徑大小的輪子，在前進時遇到的障礙物越高，對四驅車產生的阻力會越大，損耗的能量也會較多。

捌、參考資料

1. 屏東縣第 55 屆中小學科學展輪子直徑大小及厚度對於行進於直線道及彎道時的影響
2. 國中自然與生活科技課本第五冊 直線運動 翰林版
3. <https://kknews.cc/sports/rzkjlr.html>
4. <https://mall.pchome.com.tw/store/QCAA94>
5. <https://yamol.tw/item-%E9%87%8D%E6%96%B0%E8%BC%89%E5%9C%9617.+%E5%B0%87%E6%89%93%E9%BB%9E%E8%A8%88%E6%99%82%E5%99%A8%E7%9A%84%E9%A0%BB%E7%8E%87%E5%9B%BA%E5%AE%9A%EF%BC%8C%E4%BB%A5%E4%B8%8D%E5%90%8C%E7%9A%84%E9%80%9F%E5%BA%A6%E6%8B%89%E5%8B%95%E7%94%B2%E3%80%81%E4%B9%99%E3%80%81%E4%B8%99%E3%80%81%E4%B8%81%E7%B4%99%E5%B8%B6%EF%BC%8C%E5%9B%9B%E6%AE%B5..-1572935.htm>
6. <https://kknews.cc/education/lxx3rbg.html>
7. 國中自然與生活科技課本第五冊 力矩和轉動 翰林版
8. 同一輛車加速的快慢跟輪胎的大小到底有關係嗎？原文網址：
<https://kknews.cc/news/6o5plyv.html>