

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第三名

080107

曲直分明--為何纜車的握臂是彎的？

學校名稱：彰化縣員林鎮員林國民小學

作者： 小六 黃冠樺 小六 黃炳華 小六 歐沛慈 小六 胡雨勛	指導老師： 張晉豪
---	--------------

關鍵詞：纜車、單擺運動、纜車握臂

曲直分明－為何纜車握臂是彎的？

摘要

我們發現各地纜車握臂形式大部分是彎曲的，這是為了美觀？還是有其他目的呢？我們模擬纜車的形式，試做**直握臂纜車**及**彎曲握臂纜車**，發現當纜索張力越大時，兩種纜車受到側向力(風)影響後，擺動的時間縮的越短。**彎曲握臂纜車**受到側向力(風)影響後，擺動的時間比**直握臂纜車**短，**直握臂纜車**會產生「單擺運動」，但是**彎曲握臂纜車**擺動「非單擺運動」。增加纜車的重量，**直握臂纜車**擺動仍然是一種「單擺運動」，**彎曲握臂纜車**擺動時間隨重量增加而減少，有穩定的效果。改變握臂形式，當「**<**」、「**Γ**」、「**I**」、「**L**」四種握臂形式纜車，受到側向力(風)影響後，「**L**」形握臂纜車從晃動到靜止所需的時間最短，「**<**」形握臂纜車所需的時間最長。

壹、研究動機

前陣子校外教學到了「九族文化村」，在那兒，我們幾個好友一同搭了空中纜車，往返日月潭與九族之間，讚嘆景致優美之餘，同學突然指著窗外的纜車問了一個問題：「為甚麼纜車的『握臂』是彎的？不做成直的呢？而且握臂連接纜車頂部的地方是在側邊，看起來重心好像歪一邊，隨時會掉下去。」另一位同學也說：「在台北坐的貓空纜車時，貓空纜車的握臂好像也是這樣歪一邊。」我們很好奇兩地纜車握臂形式為何都是彎曲的？其他國家的纜車也是如此嗎？這是為了美觀？還是有其他目的呢？於是我們開啟了本次研究，探討纜車的握臂為何多半是彎的？

貳、研究目的

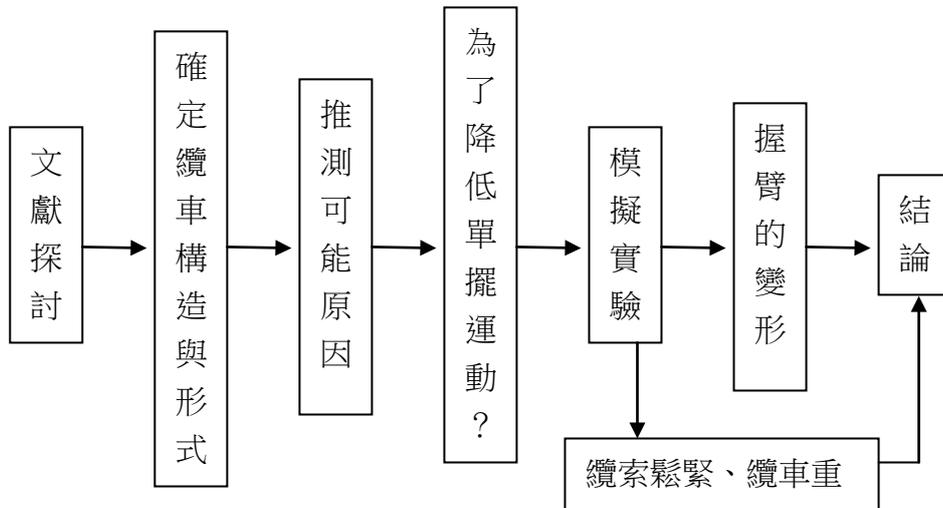
- 一、搜尋各地纜車，確認纜車握臂形式
- 二、探討纜索的鬆緊(張力)與纜車擺動間的關係
- 三、探討纜車握臂曲直與纜車擺動間的差異
- 四、探討纜車重量與纜車擺動間的關係

參、材料與器材

木片、木條、鐵絲、尺、熱熔槍、熱熔膠、砝碼、量角器、鋸子、電鑽、鋁管、200g 雙鈎砝碼、碼表、相機、腳架

肆、研究過程

一、研究架構



二、文獻探討

(一) 纜車的構造：

想要研究纜車握臂形式為何是彎的？我們必須先了解纜車的構造與運行原理，首先我們使用網路搜尋，以貓空纜車為例，了解纜車主要由四部分構成：纜索、握索器、握臂以及纜車本體（圖 4-1）。



圖 4-1：貓空纜車構造

(取自：<http://gondola.trtc.com.tw/aboutgondola.htm>)

(二) 纜車的形式：

接下來我們上網搜尋了各地不同的纜車形式，發現不同國家地區的纜車系統擁有共同的特徵，纜車的握臂大部分都是彎曲的形式，如圖 4-2、圖 4-4 所示，與台灣日月潭纜車（圖 4-3）、貓空纜車（圖 4-4）相同形式。於是，我們打電話給台灣貓空纜公司，詢問為何纜車的握臂要做成彎曲而不是做成直的？對方卻回答我們說：「這方面我們不清楚，應該只是單純美觀吧！」對這樣子的回答，我們並不滿意，因此決定自己動手找出答案。



圖 4-2：中國纜車

取自 http://cn.supplierlist.com/photo_images/ElevatorandFunicularCar/6972.jpg



圖 4-3：日月潭纜車



圖 4-4：加拿大硫磺山纜車，取自 http://mbtcanada.blogspot.com/2008/09/blog-post_3940.html



圖 4-5：貓空纜車

三、纜車的試作：

既然許多國家、地區纜車系統使用的纜車握臂多為彎曲的，那麼就不僅僅是「美觀」二字可以解釋了，畢竟不同地區的審美觀點未必相同，我們決定先試做兩台不同握臂形式的纜車，來觀察纜車在纜索上的移動情形（圖 4-6~圖 4-10），再藉由兩者的差異提出合理的假設。

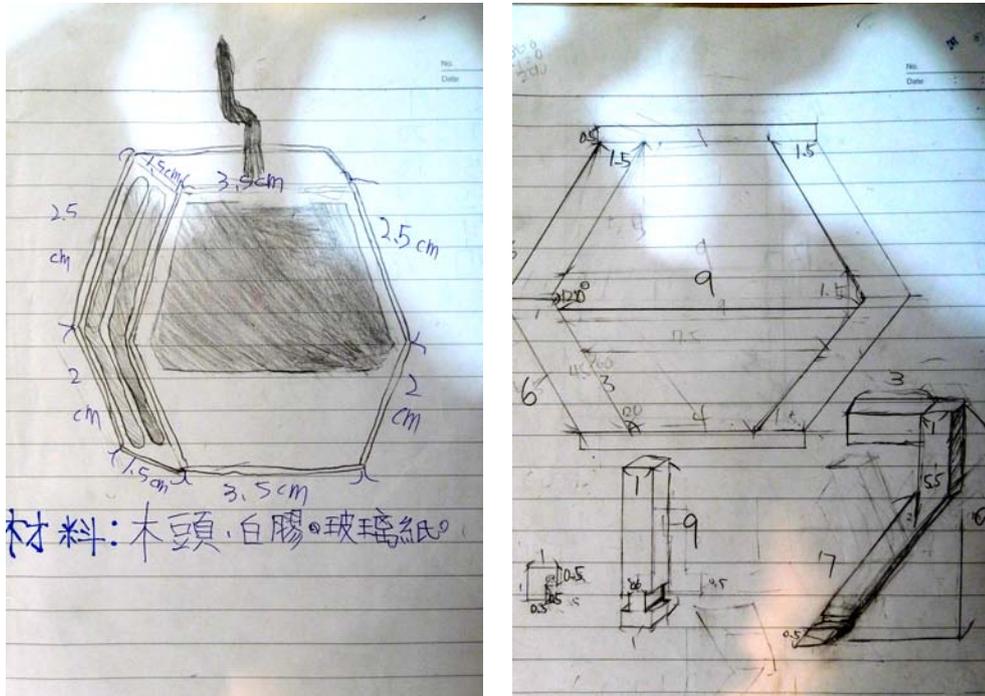


圖 4-6、第一代纜車設計圖

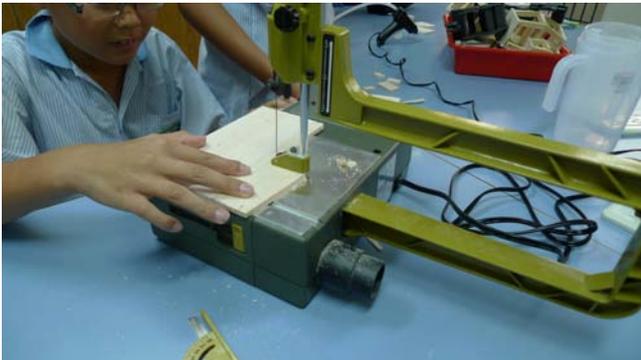


圖 4-7、纜車的製作



圖 4-8、纜車製作歷經多次的失敗



圖 4-9、多次失敗後，工藝技術大提升



圖 4-10、完成握臂直與曲的纜車 1 號、2 號

四、前置實驗與假設：

根據我們試做的「直握臂纜車 1 號」、「彎曲握臂纜車 2 號」(圖 4-10) 實際在鐵絲所構成的纜索上實際模擬滑行，發現鬆弛的纜索導致纜車產生「單擺運動」，而且在纜車因單擺運動而搖晃時，帶動纜索震盪，纜索震盪也會導致纜車晃動，纜車與纜索的擺動互相影響，使纜車擺動不停，若將纜索調緊，可以改善這種現象。此外，當**直握臂纜車 1 號**與**彎曲握臂纜車 2 號**受到側向作用力(風)時，**直握臂纜車 1 號**開始出現「單擺運動」到停止的時間較**彎曲握臂纜車 2 號**長。而且，增加纜車重量對於**直握臂纜車 1 號**沒有影響，但對**彎曲握臂纜車 2 號**的穩定有明顯的影響。根據這幾項前置實驗的結果，我們提出幾個假設，並根據這些假設中的變因進行量化的實驗與探究：

- (一) 調整纜索的張力，會影響纜車的擺動時間
- (二) 直握臂纜車與彎曲握臂纜車受側向力(風)而擺動會有差異
- (三) 增加纜車重量，會影響纜車擺動
- (四) 不同纜車握臂形式與纜車擺動有關聯

五、實驗設計：

- (一) 纜車的改良：

我們製作第一代纜車時，需要彎曲形式的纜車握臂，但是線鋸機不易操作，使的成品彎曲幅度不容易達到理想形狀，雖然以第一代纜車進行模擬實驗，也可以看出兩種形式握臂的差異，不過，為了更精準控制變因，我們以鋁管、木製存錢盒進行第二代纜車的製作(圖 4-11、圖 4-12)，第二代纜車的握臂主體以**鋁管彎曲製成**，長度、彎曲幅度都比第一代優異(圖 4-13)。

除了直握臂、曲握臂兩種形式纜車外，根據第四個假設：「不同纜車握臂形式與纜車擺動有關聯」，我們同樣以鋁管彎曲成四種形狀的「握臂」：「**<**」、「**Γ**」、「**I**」、「**L**」四種，纜車主體則以黏土球來當作纜車的重心，進行不同握臂形式的比較(圖 4-14)。



圖 4-11、二代纜車的材料：木片、鋁管



圖 4-12、將鋁管彎曲成直、彎兩種形式



圖 4-13、二代纜車完成品(直纜 II、曲纜 II)



圖 4-14、不同形式握臂的探討

(二) 纜索的設置

為了比較纜索的鬆緊（張力）對纜車擺動的影響，我們設計了一個可以調整纜索張力的裝置（圖 4-15），以鐵絲做為纜索，懸掛在支架之上，在纜索兩側掛上不同重量的砝碼來改變纜索的張力，再分別以不同形式的纜車在纜索上進行模擬。

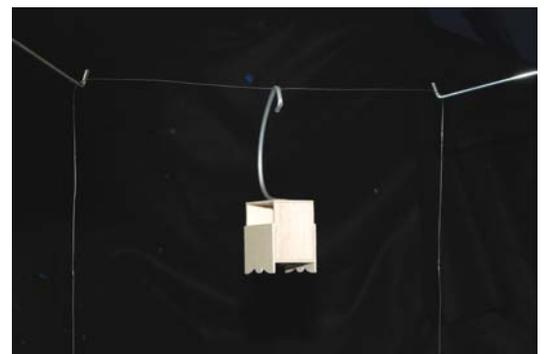
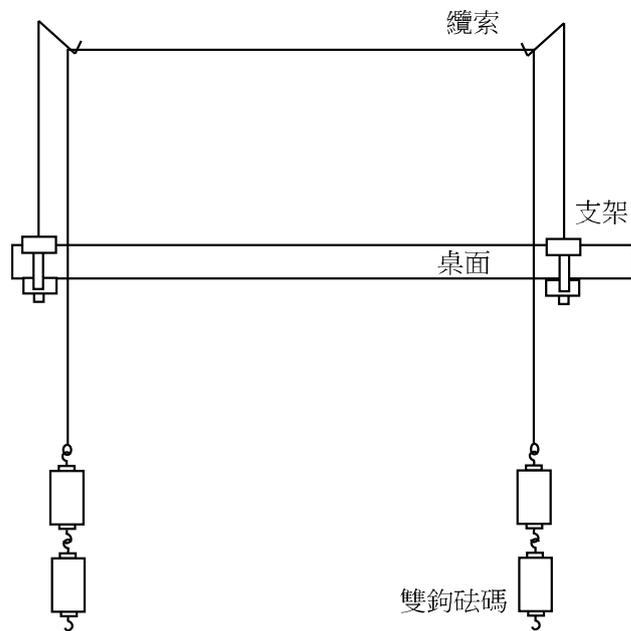


圖 4-15、可調式纜索設計

(三) 實驗方法

1. 依照纜索的設計(圖 4-15)，分別在兩端掛上 200g、400g、600g、800g、1000g 雙鉤砝碼，使纜繩呈現不同的張力，掛上二代纜車(直纜 II、曲纜 II)，抬升 5cm 使其自然落下，模擬受側向力影響產生擺動，測量擺動開始到靜止所費時間，重複 10 次。
2. 選定纜索影響擺動最小的張力，比較直握臂與彎曲握臂纜車擺動的週期、頻率以及開始擺動到靜止所費時間，重複 10 次。
3. 在纜車內分別放置 20g、40g、80g 的砝碼，比較直握臂纜車與彎曲握臂纜車擺動的週期、頻率以及起始擺動到靜止所費時間，重複 10 次。
4. 製作不同彎曲形式的握臂 (圖 4-14)，重複擺動實驗。

伍、研究結果

一、纜索張力對於纜車受側向力擺動的影響：

表 5-1、纜索張力對於纜車受側向力擺動起始到靜止所需的時間(sec.)：

纜索張力	400g		800g		1200g		1600g		2000g	
	直臂	曲臂								
1	98.88	84.98	91.28	80.20	90.28	77.73	92.09	76.90	89.92	74.42
2	96.28	83.33	92.12	77.52	91.46	76.45	90.12	75.52	89.90	74.00
3	95.16	82.23	93.58	78.99	91.87	76.88	88.64	75.02	89.12	74.25
4	98.65	82.29	93.88	80.64	90.11	77.23	88.78	75.54	88.87	75.56
5	95.76	83.66	94.00	80.66	92.02	75.97	89.24	75.36	86.60	74.80
6	96.36	85.72	94.68	78.13	91.36	76.01	90.42	75.38	88.92	74.12
7	98.21	86.68	91.00	78.68	90.24	76.33	90.30	75.89	89.64	73.24
8	95.12	81.98	92.86	76.68	90.51	77.89	86.54	76.58	89.52	74.38
9	93.78	80.88	90.78	78.24	91.67	77.07	87.58	74.57	88.78	75.03
10	96.52	82.41	92.00	77.25	90.25	77.46	89.92	75.56	89.12	74.01
平均	96.47	83.42	92.62	78.70	90.98	76.90	89.36	75.63	89.04	74.38

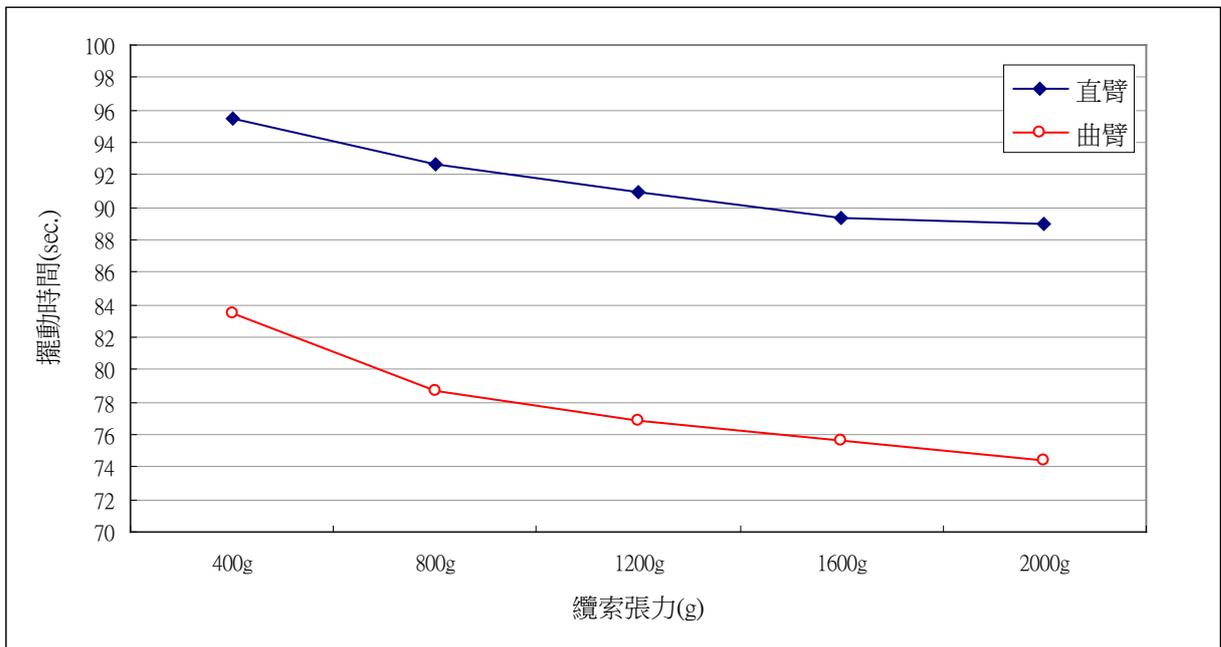


圖 5-1、纜索鬆緊與纜車擺動時間關係

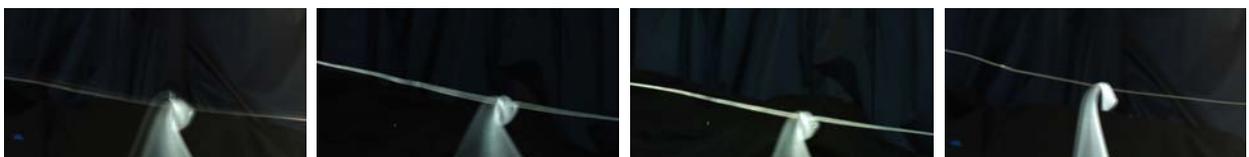


圖 5-2、不同張力纜索受纜車擺動影響的震盪現象(自左至右纜索張力逐漸提升)

根據表 5-1 及圖 5-1 所示，當纜索張力越大時，無論直握臂或是彎曲握臂纜車擺動的時間都會縮短，且纜索張力越大，纜索與纜車產生互相影響的現象越不明顯，纜索也較不會因纜車擺動而震盪，如圖 5-2 所示。因此，我們選定張力 2000g 纜索做為後續實驗的裝置。

二、直臂與曲臂纜車擺動情形：

表 5-2、直臂纜車與曲臂纜車在張力 2000g 纜索上受側向力^{註一}影響後擺動情形

	直臂纜車 II			曲臂纜車 II		
	擺動時間	次數	週期	擺動時間	次數	週期 ^{註二}
1	89.92	110	0.817455	74.42	62	1.20032
2	89.90	112	0.802679	74.00	60	1.23333
3	89.12	112	0.795714	74.25	61	1.21721
4	88.87	110	0.807909	75.56	61	1.23869
5	86.60	111	0.78018	74.80	58	1.28966
6	88.92	113	0.786903	74.12	58	1.27793
7	89.64	110	0.814909	73.24	57	1.28491
8	89.52	112	0.799286	74.38	60	1.23967
9	88.78	110	0.807091	75.03	62	1.21016
10	89.12	112	0.795714	74.01	62	1.19371
平均	89.04	111.2	0.80	74.38	60.10	1.24

註一：擺動時間以將纜車抬升 5cm 後，使其自由擺動直至擺動終止，纜車靜止為止

註二：曲臂纜車擺動有漸緩的趨勢，其週期計算為：總擺動時間/總擺動次數(平均週期)

根據表 5-2 結果顯示，**直臂纜車**在張力 2000g 纜索上，將纜車抬升 5cm 後，使其自由擺動直至擺動終止所需時間較**曲臂纜車**長約 15 秒，可見**曲臂纜車**受側向力影響後，比起**直臂纜車**回復靜止所需的時間較短。且**曲臂纜車**擺動週期有漸緩的趨勢。

除此之外，實驗中我們觀察發現**直臂纜車**擺動時，往返中線的速度看起來相同，**曲臂纜車**擺動時不協調，為了將觀察到的不協調現象具體化，我們使用了慢速快門攝影，觀察**曲臂纜車**擺動時的速度是否不同。

由圖 5-3 慢速攝影中，可以發現**直臂纜車**在單擺運動到達左右兩側的折返點時，影像同樣清晰，但是圖 5-4 中，**曲臂纜車**在右側折返點的影像較左側模糊，顯示**曲臂纜車**自右側折返點盪回時，速度比左側快。

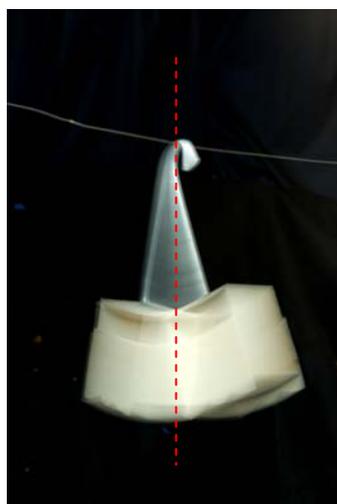


圖 5-3、直臂纜車擺動情形(F20.0/1sec.)

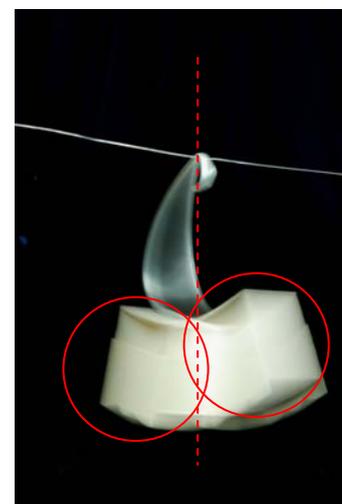


圖 5-4、曲臂纜車擺動情形(F20.0/1sec.)

三、增加纜車重量對於纜車擺動的影響

表 5-3、不同重量纜車於高張力纜索(2000g)上擺動時間平均值(測量 10 次)

	直臂纜車 II			曲臂纜車 II			
	擺動時間	次數	週期	擺動時間	次數	週期 ^{註二}	
空纜車 ^{註一}	89.039	111.2	0.800784	空纜車	74.381	60.1	1.238559
+20g	89.124	110.4	0.807283	+20g	72.127	58.3	1.23717
+40g	88.782	110.2	0.805644	+40g	69.997	54.7	1.279653
+80g	88.435	109.8	0.805419	+80g	64.258	48.9	1.31407

註一：空纜車重約 20g

註二：曲臂纜車擺動有漸緩的趨勢，其週期計算為：總擺動時間/總擺動次數(平均週期)

根據表 5-3 所示，**直臂纜車**擺動時間雖因重量增加而略減，但擺動週期不受重量增加影響，不同重量所算出的週期相近。**曲臂纜車**重量增加時擺動時間減短很多，顯示重量有助於穩定曲臂纜車的穩定，而**曲臂纜車**的擺動在重量增加時與空纜車時相同，產生不協調擺動的感覺，且擺動有逐漸減緩的趨勢。

四、不同形式握臂對纜車擺動的影響

表 5-4、「 \lt 」、「 Γ 」、「I」、「L」四種握臂形式纜車晃動靜止時間

	「 \lt 」形	「 Γ 」形	「I」形	「L」形
1	40	40	44	31.57
2	60	43	46	29.07
3	59	42.62	50	25.16
4	61	46.42	46	28.77
5	63	50.16	38.31	24.08
6	54	42.4	45.69	24.16
7	53.86	43.37	54.32	28.57
8	56.7	33.67	47.68	27.64
9	57.64	39.86	33.02	24.17
10	54	35	41.67	29.15
平均	55.92	40.65	44.669	27.234

根據表 5-4 所示，「L」形握臂纜車從晃動到靜止所需的時間最短，只需要 27.234 秒，其次是「 Γ 」形，需要 40.65 秒，所費時間最長得是「 \lt 」形握臂，而「I」形握臂所費時間為 44.669 秒。

陸、討論

- 一、不同張力的纜索會影響**直臂纜車**與**曲臂纜車**的擺動時間，纜索張力不足時，纜車的擺動會導致纜索振動，纜索振動會引起纜車的擺動，兩者**互相影響**，使的纜車停止的時間稍微延長，將纜索張力提升到 2000g 後，纜索振動和纜車擺動互相影響的情形變的不明顯。
- 二、**直臂纜車**在高張力纜索(2000g)上擺動時，無論纜車內是否添加重物，其擺動情況大致與單擺運動相符。**直臂纜車**握臂長約 12cm，而自纜索至纜車重心約長 16cm，根據單擺運動週期公式：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

T：週期 L：擺長 g：重力加速度

可以算出理論週期： $T = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{0.16}{9.8}} \approx 0.80243$

而實際測量空的**直臂纜車**擺動週期為 0.801 秒，纜車內添加重物(20g、40g、80g)後，測量值分別為：0.807、0.806、0.805 秒，與「單擺運動」理論值十分接近；而我們知道「單擺運動」擺動週期不受重物重量的影響。由實驗結果可以知道，**直握臂纜車**的擺動週期不受纜車添加重物影響，且實驗所得週期與理論值相近，可見**直握臂纜車**受側向力影響後的擺動是一種「單擺運動」。

曲臂纜車擺動到靜止的時間較短，擺動次數也較少，且擺動時產生不協調感，在中心線兩側擺動速度不一樣（圖 5-4），將**曲臂纜車**擺動所測出的時間與次數相除所得的週期與「單擺運動」理論值有差距，空纜車所算出的平均週期為 1.238 秒，比理論值多出約 0.42 秒，且**曲臂纜車**擺動時有逐漸減緩的趨勢。增加**曲臂纜車**重量重新測量時，發現重量越重，纜車擺動的時間越短，由此二點可以判斷**曲臂纜車**受側向力(風)干擾時所產生的擺動不是「單擺運動」。纜車重量的增加，擺動的時間會縮短，所以重量有助於穩定**曲臂纜車**受側向力所產生的擺動。

- 三、導致**曲臂纜車**受側向力影響後的擺動不遵循單擺運動的規律，我們認為應該與它的重心偏移有關，因握臂的彎曲，使重心稍微偏離，導致擺動時破壞單擺運動的規律。
- 四、根據實驗結果，我們可以大膽的推論：現在各地的纜車系統多為**曲臂纜車**，是因為**曲臂纜車**受到側向力(風)影響後，比直臂式纜車更快的回復平穩，有助於纜車行駛的安全。

柒、結論

- 一、當纜索張力越大時，無論**直握臂纜車**或是**彎曲握臂纜車**擺動的時間縮的越短，且纜索張力越大，纜索與纜車產生「共振現象」越不明顯。
- 二、**彎曲握臂纜車**受到側向力(風)影響後，擺動的時間比**直臂形式纜車**短，而且擺動的過程中在垂直中線兩側的擺盪速度不同，擺動過程也有逐漸減緩的趨勢，求得的平均週期也與「單擺運動」理論值有差距，所以這種擺動不是「單擺運動」。直臂形式的纜車受到側向力(風)影響後，則會產生「單擺運動」。
- 三、增加**直臂形式纜車**的重量，受到側向力(風)影響後，雖擺動時間略微降低，但週期仍然一樣，並且與「單擺運動」相同，所以直臂形式纜車受側向力影響後所進行的擺動是一種「單擺運動」。
- 四、若增加**曲臂形式纜車**的重量，受到側向力(風)影響後，擺動時間隨重量增加而減少，且擺動的平均週期都和「單擺運動」理論值有差距，擺動過程也有逐漸減緩的趨勢，因此這種擺動不是「單擺運動」。
- 五、重量有助於穩定**曲臂形式纜車**受到側向力(風)影響後，所產生的「非單擺運動」。
- 六、「**く**」、「**Γ**」、「**I**」、「**L**」四種握臂形式纜車，受到側向力(風)影響後，「**L**」形握臂纜車從晃動到靜止所需的時間最短，只需要 27.234 秒，其次是「**Γ**」形，需要 40.65 秒，而「**I**」形握臂所費時間為 44.669 秒。

捌、參考資料

- 一、陳政典 (2008)。國立台中女中地理學科電子報。2008.01.27，<http://gis.tcgs.tc.edu.tw/news/200801/>
- 二、台北捷運貓空纜車，<http://gondola.trtc.com.tw/aboutgondola.htm>
- 三、中國纜車，http://cn.supplierlist.com/photo_images/ElevatorandFunicularCar/6972.jpg
- 四、(2008)加拿大硫磺山纜車。2008.09.28，http://mbtcanada.blogspot.com/2008/09/blog-post_3940.html

【評語】 080107

- 1.實驗過程嚴謹，有創意。
- 2.表達能力可以再加強。
- 3.圖表的展示可以再加以改進。
- 4.建議對變因的控制操控再嚴謹。