

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031603

爬樹猴之爬升研究

學校名稱：臺北縣立中平國民中學

作者： 國一 吳黃敬 國一 楊凱丞 國一 王 竣 國一 羅偉綸	指導老師： 楊忠澤
---	--------------

關鍵詞：爬樹猴 爬繩猴 科展

爬樹猴爬升之研究

壹、摘要：

爬樹猴爲一鐵絲彎成的梯形框框，四個角彎成小圓圈，串過繩子後將繩子上端固定在吊架上，交替拉繩子下端可使爬樹猴上升。本實驗主要目的在研究爬樹猴爬升的原理，並探討影響步幅及負重能力的因素。實驗發現爬樹猴藉著扭轉身體而改變摩擦力，左右兩邊輪流當支點，另一邊則順著繩子向上滑動。實驗中意外發現吊架扮演著重要而有趣的角色，使用固定吊架或活動吊架竟然使爬樹猴上移的過程相反。深入研究之後，發現繩子的彈性及猴子的形狀都扮演著非常重要的角色。

貳、研究動機：

在一次偶然的機會中，在書本上看到一種玩具叫【爬樹猴】，拉動左右兩條繩子，就可往上爬動，有如猴子爬樹一般，引發了我們的興趣，想要知道猴子如何上升，我們便去請教老師，設置了一個如爬樹猴一樣的裝置，運用自然課本內的摩擦力、靜力平衡等概念，探討猴子上升的原因。

參、研究目的：

- 一、研究鐵絲做的「猴子」爬樹的原理。
- 二、研究影響猴子爬升步幅之因素。
- 三、研究猴子載重的能力。

肆、研究器材與裝置：

一、器材

器材	規格	數量
鐵絲	直徑約 1.2mm 總長約 5m	1
棉線	一捆，10m	1
尼龍絞絆線	一捆，10m	1
金屬光澤的塑膠線	一捆，3m	2
佛珠線	一捆，3m	2
砝碼	20、50、100、500、1000 g	各若干
彈簧秤	500gw 2kgw	各 1
天平	200g	1
打氣筒	一般	2 個
塑膠軟管	直徑約 6mm	約 2m
寶特瓶	2000ml	2 個

表一 器材



圖 1-1 棉線



圖 1-2 尼龍絞絆線



圖 1-3 金屬光澤塑膠線



圖 1-4 佛珠線

二、裝置：

(一) 製作吊架

表二 吊架規格

吊架	邊長 cm	形狀
甲	4.5	三角形
乙	8.5	三角形
丙	10	三角形
丁	14	三角形
戊	底邊 7	梯形



圖 2 吊架

(二) 製作猴子 表三 猴子規格

代號	形狀	上底長 (cm)	下底長 (cm)	斜邊長 (cm)
S	梯形	5	7	5.5
M1	矩形	7	7	7.7
M2	梯形	7	8	7.7
M3	梯形	7	9	7.7
M4	梯形	7	10	7.7
M5	梯形	7	11	7.7
M6	梯形	7	12	7.7
M7	梯形	7	13	7.7
L	梯形	9	16.2	9.9
XL	梯形	11	21	12.1
T	三角形	0	13	13



圖 3-1 鐵絲猴子



圖 3-2 鐵絲猴子

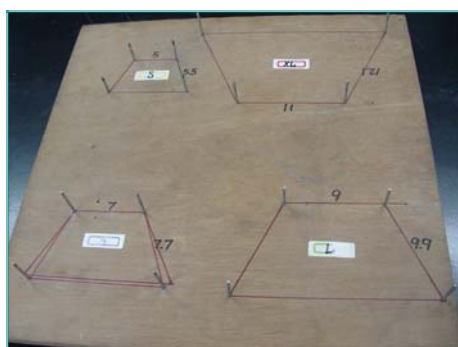


圖 3-3 鐵絲猴子尺寸板



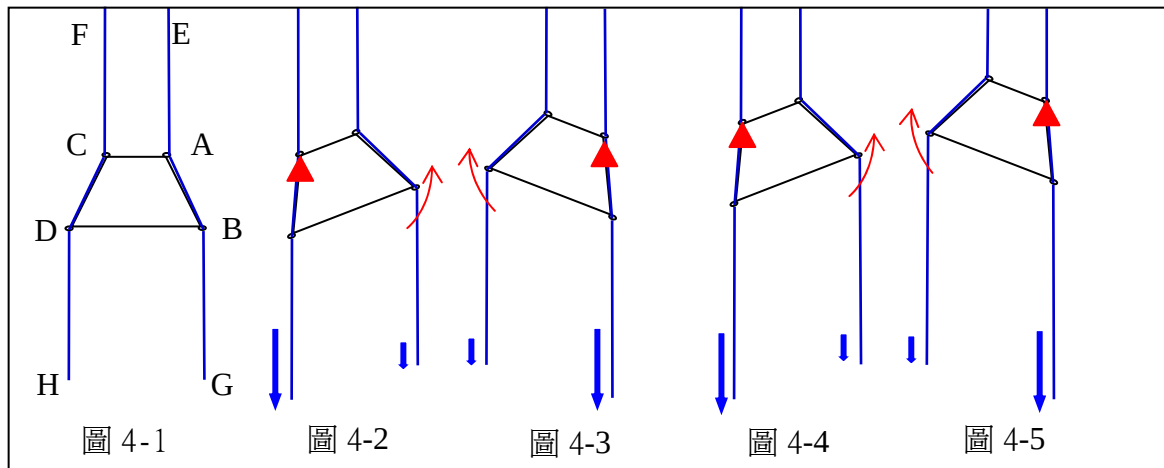
圖 3-4 三角形猴子

伍、研究過程與結果：

一、分析猴子爬繩的過程、原理及可能變因：

(一)、觀察猴子爬繩的過程

1. 操作：如下圖，E、F 端固定在固定吊架上，使上端的兩條繩子平行。以雙手交替拉繩子的下端，觀察猴子如何上升。



2. 結果：

- (1) 由圖 4-1 至 4-2：在 H 處加大拉力，同時 G 減輕拉力，猴子以 C 為支點，逆時鐘旋轉，C、D 點不滑動，但 A、B 點順著繩子轉動上移。
- (2) 由圖 4-2 至 4-3：在 G 處加大拉力，同時 H 減輕拉力，猴子以 A 為支點，順時鐘旋轉，A、B 點不滑動，但 C、D 點順著繩子轉動上移。
- (3) 重複以上步驟，猴子便漸漸上升。

(二)、定量觀察(固定吊架)

1. 操作：

- (1) 在繩子畫上刻度，上端固定於固定吊架。在黑板上貼一張方格紙以鉛垂線校準。
- (2) 以懸掛砝碼取代用手拉繩子。
- (3) 每次調整兩個砝碼(每一個砝碼 20gw)，照相記錄，並讀出 C、A 點相對於繩子滑動的距離。

以下為其中 9 張相片

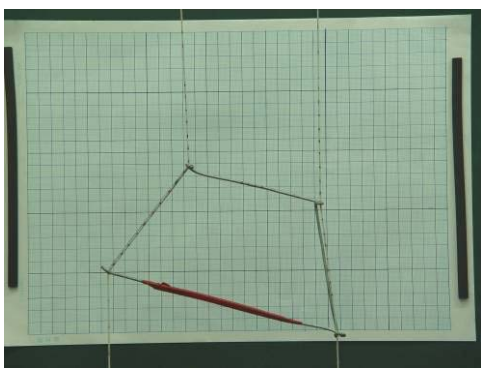


圖 5-1 左 80g 右 880g

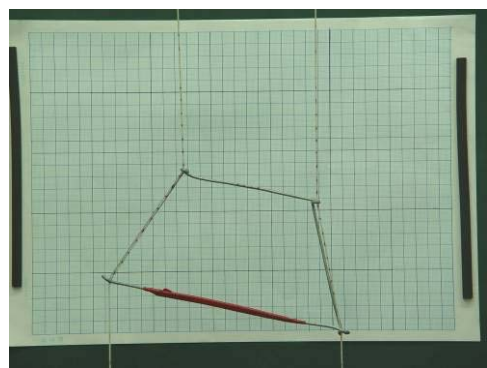


圖 5-2 左 280g 右 680g

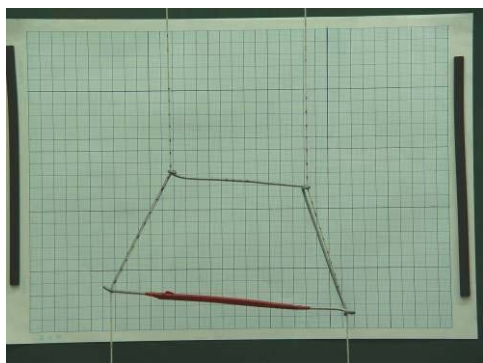


圖 5-3 左 480g 右 480g

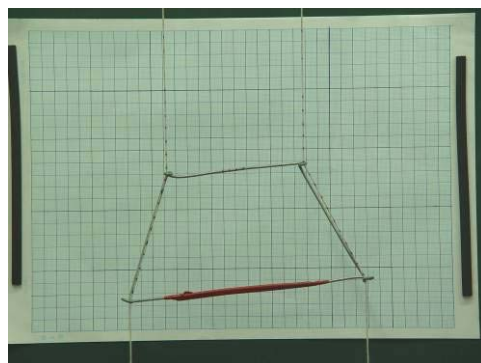


圖 5-4 左 680g 右 280g

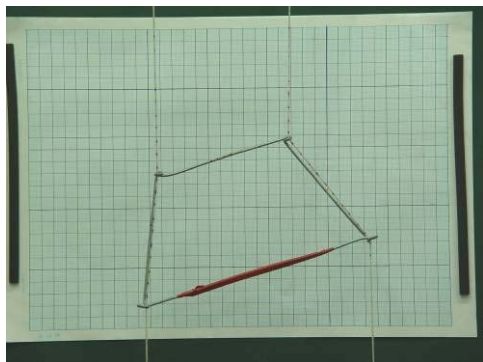


圖 5-5 左 880g 右 80g

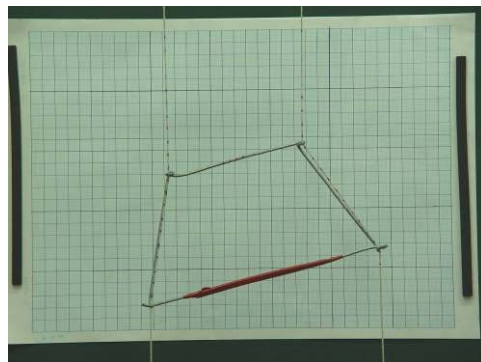


圖 5-6 左 680g 右 280g

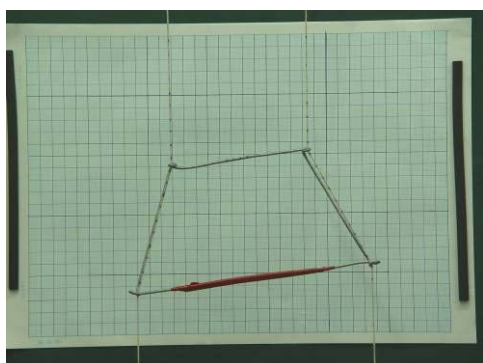


圖 5-7 左 480g 右 480g

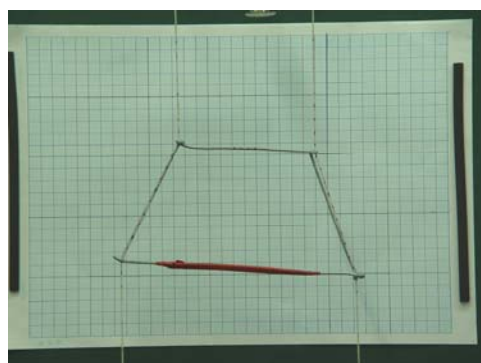


圖 5-8 左 280g 右 680g

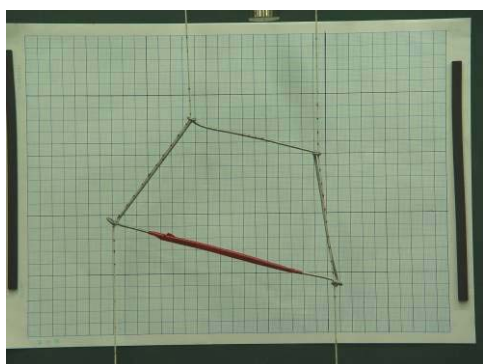


圖 5-9 左 80g 右 880g

2. 數據與作圖：

- (1) A、C 點相對於繩子上的起點位置的滑動距離，如下表所示：(向上為 “+” ；
向下為 “-”)
- (2) 做圖分析如圖(6)，圖形下方代表施力過程。

表四 固定吊架 猴子爬升過程與施力關係

左邊砝碼數	右邊砝碼數	C 點滑動距離(cm)	A 點滑動距離(cm)	左邊砝碼數	右邊砝碼數	C 點滑動距離(cm)	A 點滑動距離(cm)
4	8	0	0	28	20	1.4	0.9
4	12	0.1	-0.1	32	16	1.4	1.3
4	16	0.7	-0.3	36	12	1.4	2
4	20	1	-0.4	40	8	1.4	2.9
4	24	1.1	-0.4	44	4	1.4	3.5
4	28	1.5	-0.5	40	8	1.2	3.5
4	32	1.6	-0.6	36	12	1.2	3.5
4	36	1.6	-0.7	32	16	1.5	3.5
4	40	1.7	-0.7	28	20	2	3.5
4	44	1.7	-0.8	24	24	2.5	3.5
8	40	1.5	-0.9	20	28	3.2	3.4
12	36	1.5	-0.9	16	32	3.8	3.3
16	32	1.5	-0.7	12	36	4.5	3.2
20	28	1.5	-0.1	8	40	5	3.1
24	24	1.5	0.1	4	44	5.5	3

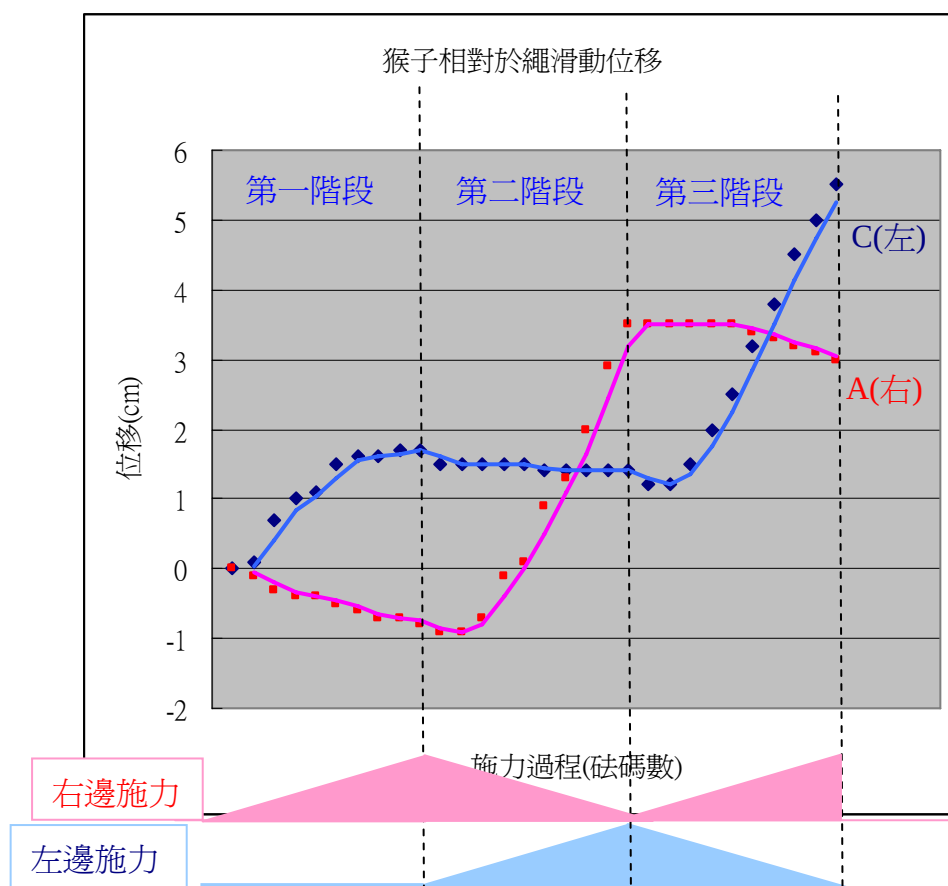


圖 6 固定吊架 猴子相對位移

3. 結果與分析：

- (1)第一階段：右側繩子施力加大時，猴子的右側下滑一些距離，同時隨著拉力加大，右側的繩子愈繃愈緊，也愈直，使猴子順時鐘轉把 C、D 點抬高向上滑。
- (2)第二階段：左側繩子施力增加，右邊施力漸減，左側的繩子愈繃愈緊，也愈直，使猴子逆時鐘轉把 A、B 點抬高向上滑。而左側的 C、D 點稍微下降。
- (3)第三階段：右側繩子施力增加，左邊施力漸減，右側的繩子愈繃愈緊，也愈直，使猴子又順時鐘轉，再次把 C、D 點抬高向上滑。而 A、B 點稍微下滑。

(三)、定量觀察(三角型吊架)

1. 操作：

- (1)在兩條繩子上都畫上刻度，0 點綁在三角形吊架兩端……。
- (2)仿照以上(二)之操作。

2. 數據與作圖：

左邊砝碼數	右邊砝碼數	C 點滑動距離(cm)	A 點滑動距離(cm)	左邊砝碼數	右邊砝碼數	C 點滑動距離(cm)	A 點滑動距離(cm)
4	4	0	0	28	8	2	1.1
4	8	0	0	24	12	1.9	1.1
4	12	0	0	20	16	1.9	1.1
4	16	0	-0.1	16	20	1.9	1.1
4	20	0	0.3	12	24	1.9	1.1
4	24	0	0.6	8	28	1.9	1.9
4	28	0	0.9	4	32	1.9	2.5
4	32	0	1	8	28	1.8	2.9
8	28	0	1.1	12	24	1.9	3
12	24	0	1.1	16	20	1.9	2.9
16	20	0	1.1	20	16	1.9	2.9
20	16	0	1.1	24	12	1.9	2.9
24	12	0	1.1	28	8	1.9	2.8
28	8	0	1.1	32	4	2	2.8
32	4	0.9	1.1				

表五 三角吊架 猴子爬升過程與施力關係

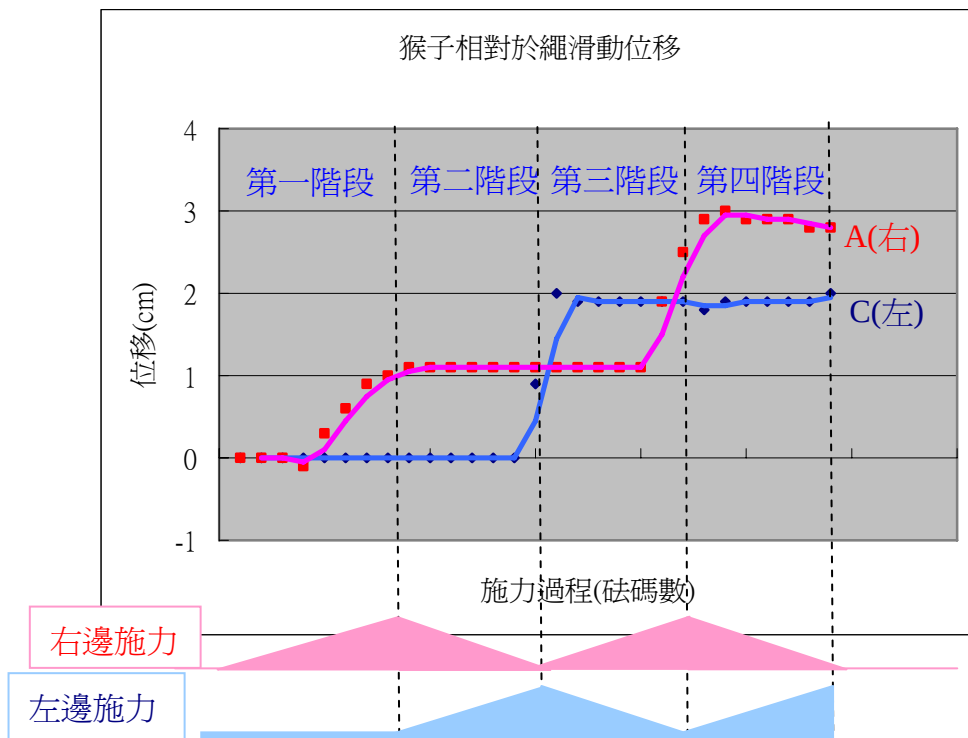


圖 7 三角型吊架 猴子相對位移

3. 結果與分析：

- (1)第一階段：右側繩子施力增加到某一值之後，繩子相對於猴子下滑(相當於猴子上升)，而左端始終不動。
- (2)第二階段：左側繩子施力增加，右邊施力漸減，兩邊幾乎都沒有相對滑動。直到兩端施力差很多時，左端的繩子才下滑。
- (3)第三階段：右側繩子施力增加，左邊施力漸減。剛開始左端繩子繼續剛才的下滑趨勢，後來又都不滑動，直到兩端施力差很多時，右端的繩子才下滑。

- 4.由以上分析，影響猴子運動的變因可能為摩擦力、繩子的拉力。而鐵絲、繩子的種類及接觸的角度又可能會影響摩擦力。

二、：研究摩擦力與包覆角的關係。

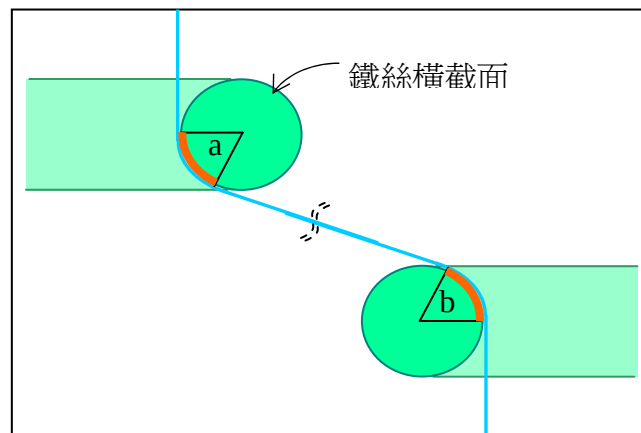


圖 8 鐵絲與繩子之間包覆角示意圖

(一)、裝置實驗設備如圖(9)：

- 1.厚紙板割成圓形，每 15 度畫一刻度。
- 2.鐵絲穿過圓心，安裝在支架上。
- 3.把 50 公克的砝碼黏貼在圓盤上的其中一條線上，當鉛錘的作用。

(二)、操作測量：

- 1.取一條棉線吊 80 公克的砝碼，另一端用彈簧秤拉著，使棉線繞過鐵絲並對準 15 度刻度線，此時包覆角即為 15 度。
- 2.慢慢拉彈簧秤，測出拉動砝碼的最小力量，重複數次，取平均值。
- 3.每 15 度量一次，約測到 180 度為止。
- 4.改變懸重為 160gw、240gw 重複以上測量。



圖 9 包覆角度與最小的拉力

(三)、結果：

- 1.數據如下表(六)，關係圖如圖(10)
- 2.在 180 度範圍內，摩擦力大致與包覆角度成正比。
- 3.懸掛愈重，摩擦力就愈大。

表六 不同懸重時之摩擦力與包覆角關係(單位 gw)

懸重 包覆角(度)	80gw	160gw	240gw
15	13	22	30
30	24	35	50
45	30	55	77
60	39	75	121
75	50	90	140
90	65	103	163
105	59	123	180
120	68	140	210

135	93	147	217
150	98	157	
165	105	193	
180	118	203	

不同懸重時摩擦力與包覆角關係圖

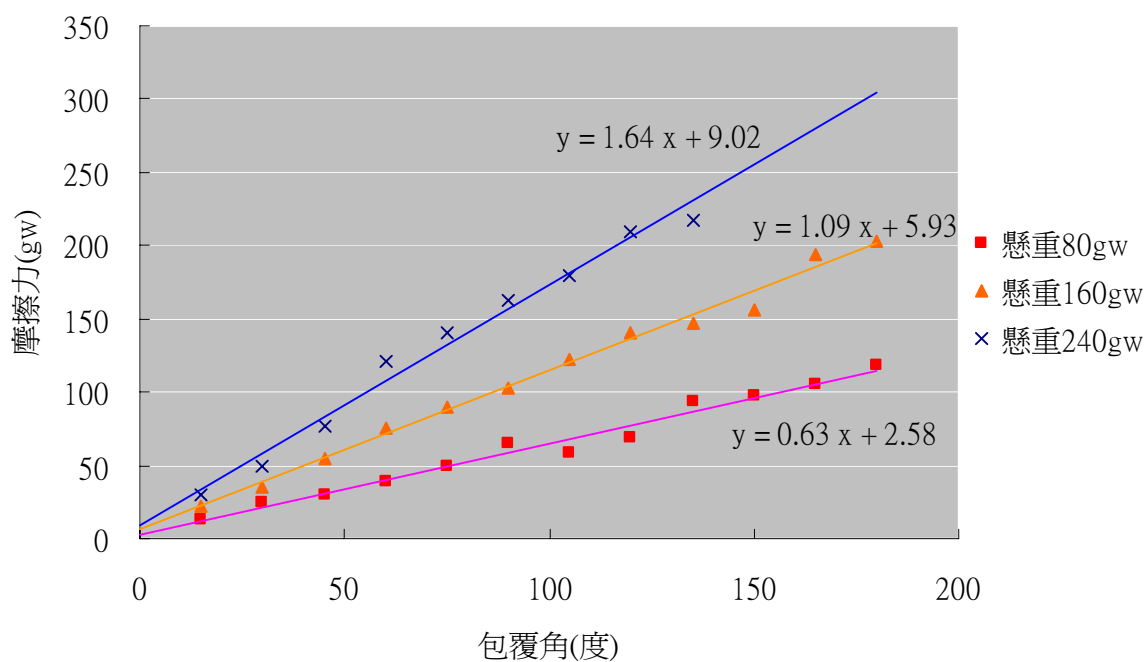


圖 10 棉線之摩擦力與包覆角關係

三、研究吊架對猴子爬升步幅之影響。

(一)、操作測量：

1. 在吊架上掛上棉線，線上每 1 公分劃一刻度，裝上猴子。反覆拉繩子下端十次，每次都拉到底，測量猴子上升的總距離。
2. 改用 M1~M7 的猴子測量。
3. 改用甲~戊吊架測量。

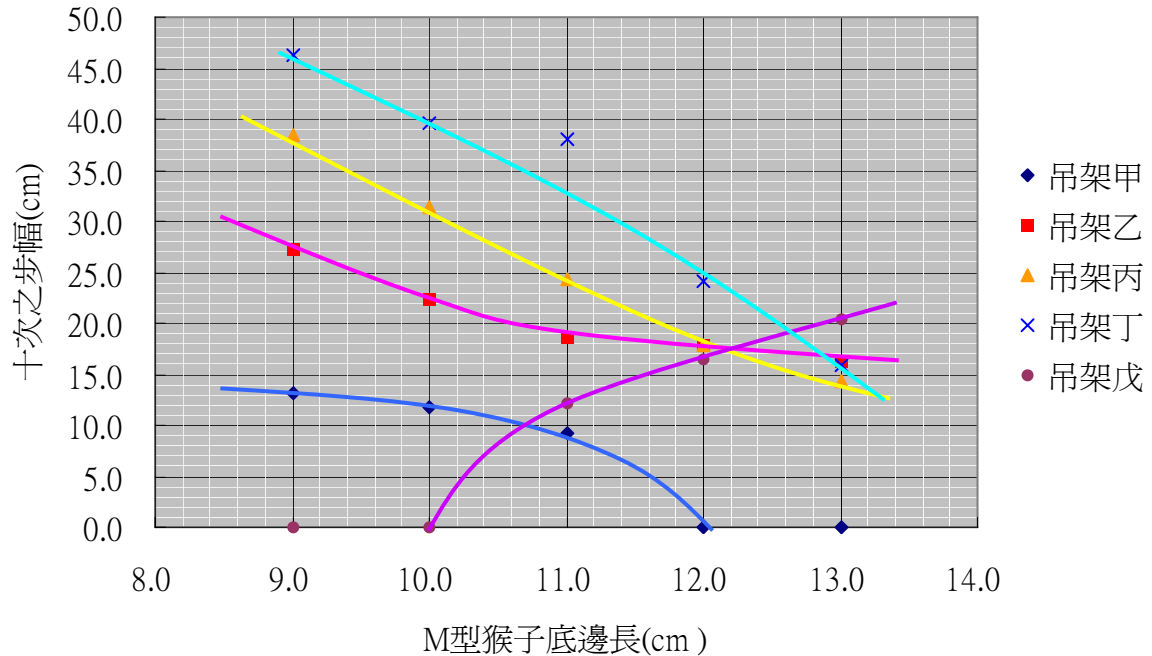
(二)、數據與作圖：

表七 各種吊架 猴子與步幅關係

猴子		吊架甲	吊架乙	吊架丙	吊架丁	吊架戊
代號	下底長(cm)	步幅(cm)	步幅(cm)	步幅(cm)	步幅(cm)	步幅(cm)
M1	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M2	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M3	9.0	13.1	27.3	38.4	46.3	0.0
M4	10.0	11.7	22.4	31.4	39.6	0.0
M5	11.0	9.2	18.6	24.3	38.0	12.1

M6	12.0	0.0	17.9	17.8	24.1	16.5
M7	13.0	0.0	16.3	14.3	16.0	20.5

圖 11 各種猴子步幅與吊架之關係圖



(三)、結果分析:

1. 使用三角形吊架時，底邊愈短的猴子步幅愈大，但使用四邊形吊架時卻相反。
3. 三角形吊架越大則上升步幅愈大，但底邊漸大之後，曲線交會在一起。

四、研究爬升步幅與猴子位置的關係

(一)、裝置與測量：

1. 將兩條長度約 3m 的棉線上端固定在高處，距離與猴子上邊等寬。

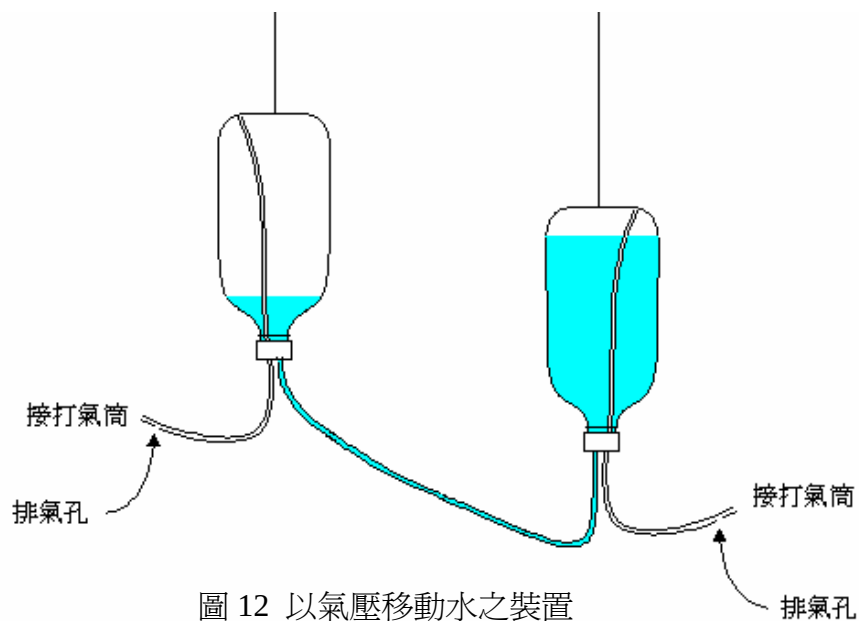


圖 12 以氣壓移動水之裝置

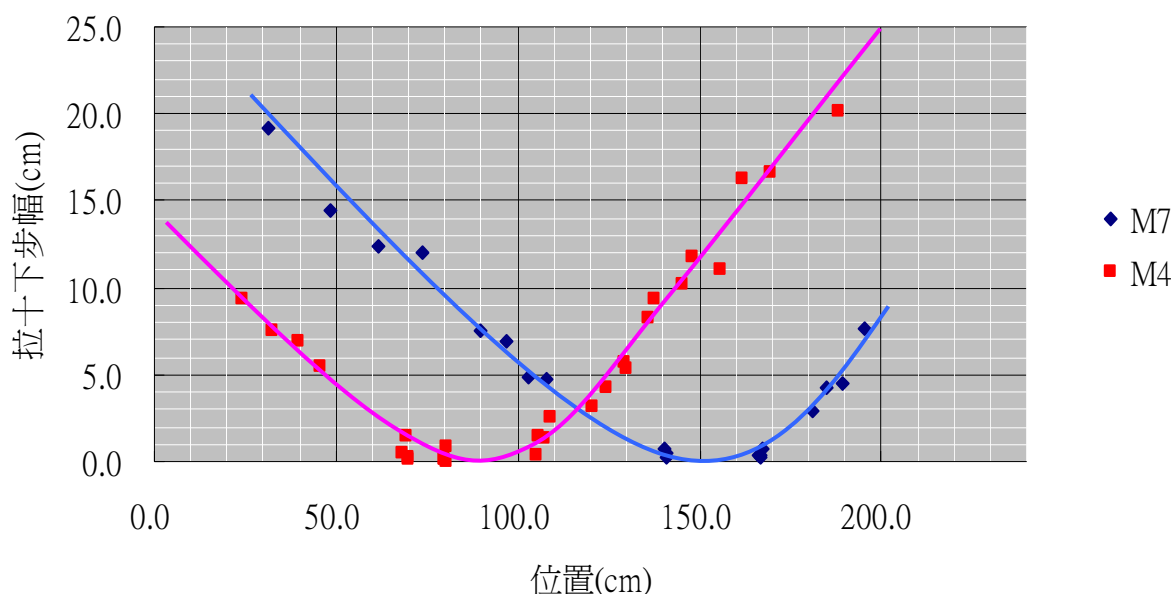
2. 如上圖(12)所示，綿線下端懸掛寶特瓶，裡面裝 2000mL 濃食鹽水(約 2370gw)，以打氣筒交替打氣來移動瓶子裡的食鹽水，以代替手施力。
3. 每交替施力十次，便紀錄一次 M7 上升高度，連續計錄 5 次。
4. 改變起點位置重複以上操作。
5. 改用 M4 猴子重複以上操作。

(二)、數據與作圖：

表八 拉十下步幅與位置關係

M7		M4	
平均位置(cm)	步幅(cm)	平均位置(cm)	步幅(cm)
31.4	19.2	24.1	9.3
48.2	14.4	32.5	7.5
61.6	12.4	39.7	6.9
73.8	12.0	45.9	5.5
90.0	7.5	68.3	0.5
97.2	6.9	69.2	1.4
103.1	4.9	70.0	0.2
107.9	4.7	70.2	0.1
140.5	-1.0	79.6	0.1
140.4	0.7	79.7	0.1
140.8	0.2	80.2	0.9
141.2	0.5	80.6	0.0
166.2	0.4	104.9	0.4
166.6	0.4	105.8	1.4
166.9	0.2	107.2	1.3
167.4	0.7	109.1	2.5
181.3	2.9	120.5	3.2
184.9	4.3	124.2	4.2
189.3	4.5	129.2	5.7
195.4	7.7	136.1	8.2
		130.1	5.3
		137.4	9.3
		147.9	11.8
		162.0	16.3
		145.3	10.2
		156.0	11.1
		169.8	16.6
		188.2	20.2

圖 13 步幅與位置關係圖



(三)、結果分析：

1. M7、M4 猴子在上端固定的長綿線上爬升時都會碰到“瓶頸點”，即爬不動的位置。離瓶頸點愈遠，爬升的步幅愈大。
2. 觀察發現，在瓶頸點下方，拉力增加的那一端，繩子相對於猴子下滑，相當於三角型活動吊架的爬升方式。而在瓶頸點上方，拉力減輕的那一端，猴子相對於繩子上移且拉力增加的一端稍微下滑。而接近瓶頸點時則兩種現象都有，但改變量非常少甚至為 0。
3. M7 的瓶頸點在 150cm 附近。M4 的瓶頸點約在 90cm 附近，且兩條曲線左右邊都互相平行且右邊比較陡。瓶頸點位置可能與猴子的形狀及所在的位置（綿線的長度）有關。

五、研究棉線彈力與長度的關係

(一)、裝置與測量：

1. 將一條長約 3m 的棉線，一端固定在天花板，使其自然下垂。
2. 在線的後面懸掛一條捲尺，使 0 刻度對準線的固定點，在線上每隔 20cm 劃一記號。
3. 在底端每次加掛 500gw 砝碼，直到 3000gw。紀錄每一記號的位置，換算成伸長量。

(二)、數據與作圖：

1. 測量結果如下表(九)，作圖分析如圖(14)。
3. 圖形接近直線，所以畫出趨勢圖並求出斜率，代表彈力常數 k 。
4. 做 k -線長關係圖，如圖(15)。
5. 做 k 的倒數-線長關係圖，如圖(16)。

表九 不同長度的棉線受力(gw)與伸長量(cm)的關係

拉力 伸長量 線長	500 gw	1000 gw	1500 gw	2000 gw	2500 gw	3000 gw
20cm	0.5	0.6	0.7	1.0	1.1	1.2
40cm	0.6	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8
60cm	0.9	1.3	1.6	2.0	2.3	2.7
80cm	1.0	1.5	2.0	2.4	2.9	3.4
100cm	1.4	1.8	2.3	3.0	3.4	4.0
120cm	1.7	2.3	2.9	3.6	4.2	4.8
140cm	2.0	2.7	3.5	4.3	5.0	5.7
160cm	2.3	3.2	4.1	5.0	5.7	6.6
180cm	2.4	3.5	4.5	5.6	6.4	7.3
200cm	2.8	3.9	5.0	6.3	7.1	8.3
220cm	3.1	4.0	5.6	6.8	8.0	9.0

圖 14 不同長度的棉線之拉力與伸長量關係圖

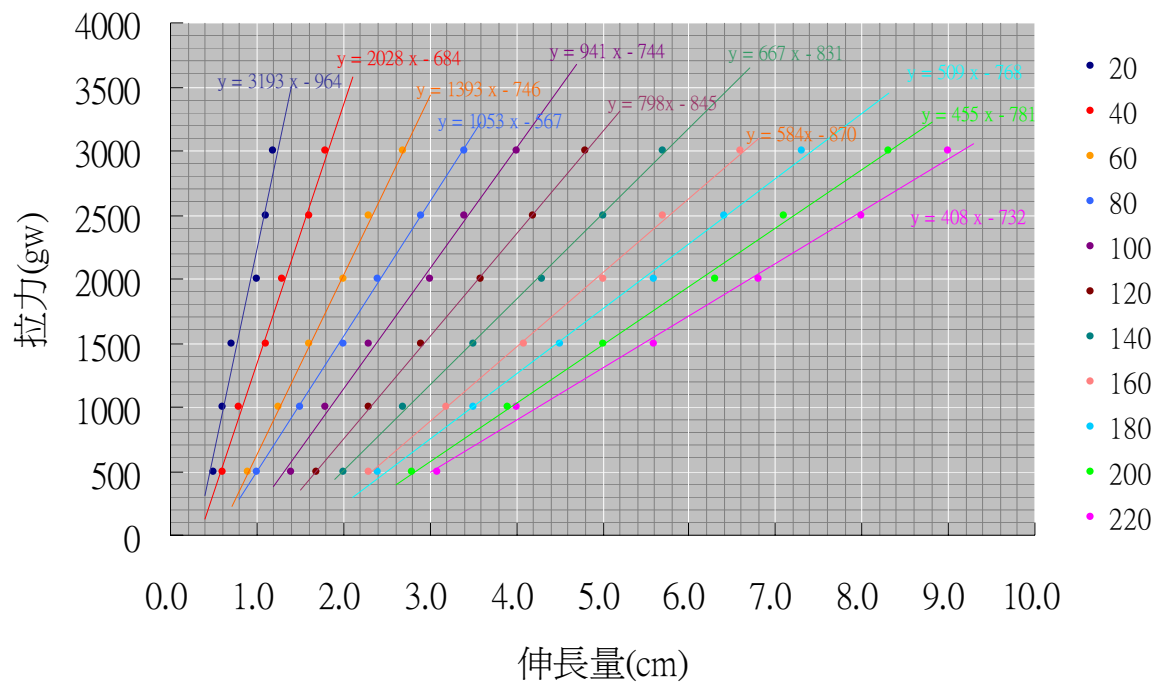


圖 15 彈力常數-棉線長度 關係圖

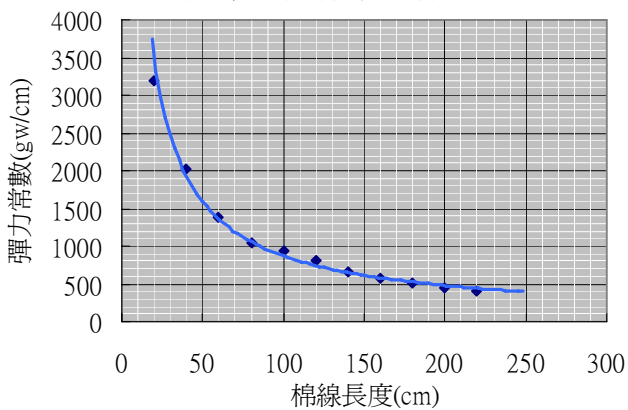
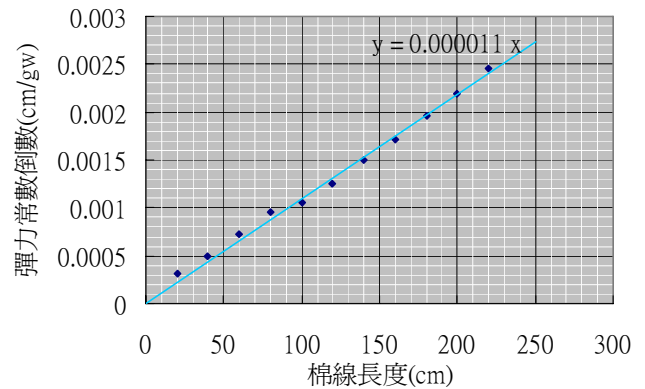


圖 16 彈力常數倒數-棉線長度 關係圖



(三)、結果分析:

1. 在測量範圍內棉線的張力-伸長量關係圖形成線性關係，但是未通過原點，可知綿線不是理想彈簧，但伸長量仍具有規律性。
2. 棉線愈長， k 愈小，也就是愈容易伸長。
3. k 的倒數和棉線長成正比。表示 k 與棉線長成反比關係。

六、研究載重能力

(一)、裝置與測量：

1. 選用 XL 猴子，以線在猴子的重心位置上綁一個線圈用來掛砝碼。
2. 以天平秤迴紋針的平均重量，當作輔助砝碼。
3. 取固定吊架（戊）綁兩條繩子，下端分別掛不一樣重量的砝碼(但是總和都一樣是 960g)。
4. 在猴子重心處逐漸加掛砝碼，直到猴子開始滑動為止。
5. 改用不同的繩子進行測量。

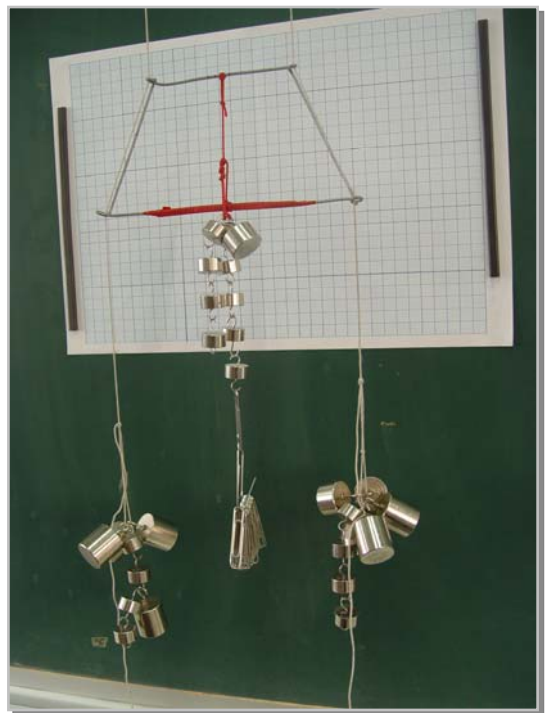


圖 17 猴子的載重

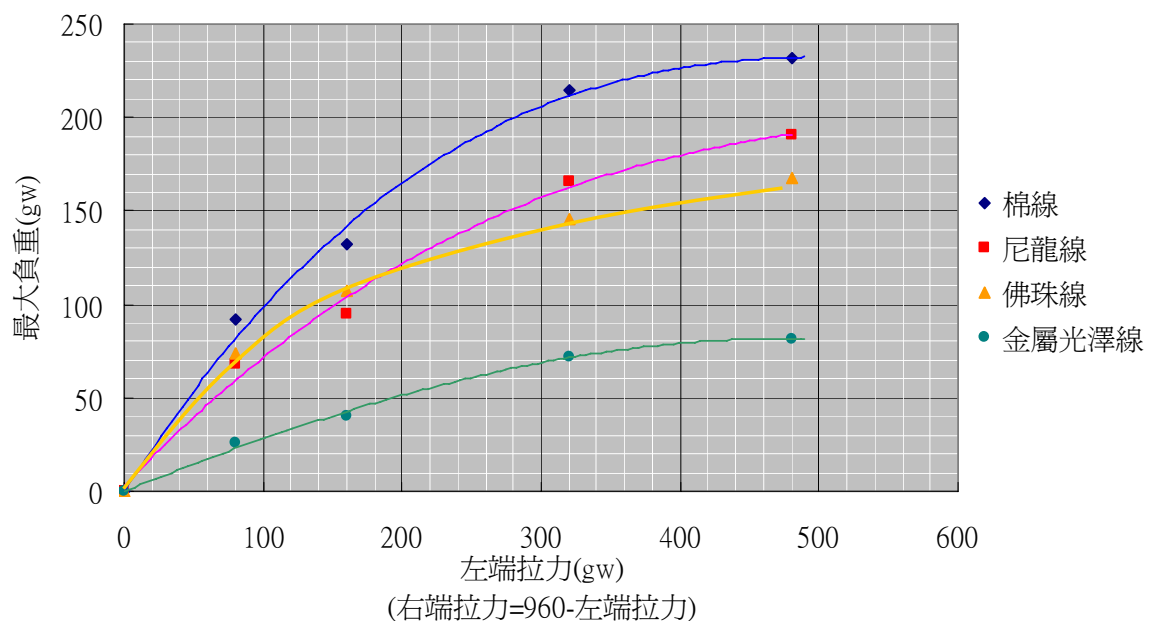
(二)、數據與作圖：

XL 猴子(含綁重心的繩子)重 24.5g，迴紋針平均每一支 1.3g。

表十 繩子之最大負重與左右拉力關係 (單位 gw)

左邊重(gw)	右邊重(gw)	棉線	尼龍線	佛珠線	金屬光澤線
0	960	0	0	0	0
80	880	91.5	68.4	73.6	25.5
160	800	132.5	95.3	107.1	40.1
320	640	214.5	165.3	145.8	72.3
480	480	231.5	190.5	167.9	81.4

圖 18 不同繩子之猴子負重-兩邊拉力 關係圖



(三)、結果與分析：

1. 在總重量相同的情形下，兩條繩子掛相同重量時能負荷的猴子重量最大，兩邊掛重差距愈大時，負重愈小。如圖(18)
2. 最大負重與繩子種類有關，表面愈光滑的繩子負重愈小。

八、從靜力平衡求繩子上端的拉力和摩擦力

(一)、由研究過程一之(二)所拍的照片中，挑選 8 張相片作力圖分析。

(二)、理論：

1. 靜止時，猴子所受的合力為 0，合力矩也為 0。

如下圖(20)：

假設左上角 C 點為支點。

A、B、C、D 點所受的拉力分別為 F_A 、 F_B 、 F_C 、 F_D ，重力為 W ，它們的力臂分別為 d_A 、 d_B 、 d_C 、 d_D 、 d_W 。

順時鐘力矩： $W \times d_W + F_B \times d_B$ ，逆時鐘力矩： $F_A \times d_A + F_D \times d_D$

其中 F_D 、 F_A 為左右懸掛的砝碼重，力臂可由方格紙上的刻度讀出來

由 順時鐘力矩 = 逆時鐘力矩 可以求出未知數 F_A 。

$$W \times d_w + F_B \times d_B = F_A \times d_A + F_D \times d_D$$

同理，假設A點為支點，則可以求出 F_C

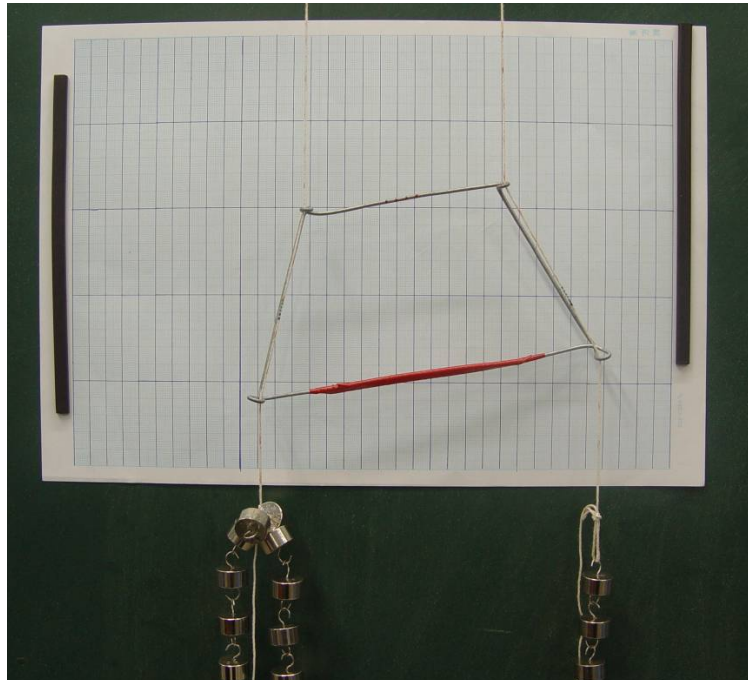


圖 19 靜力平衡分析裝置

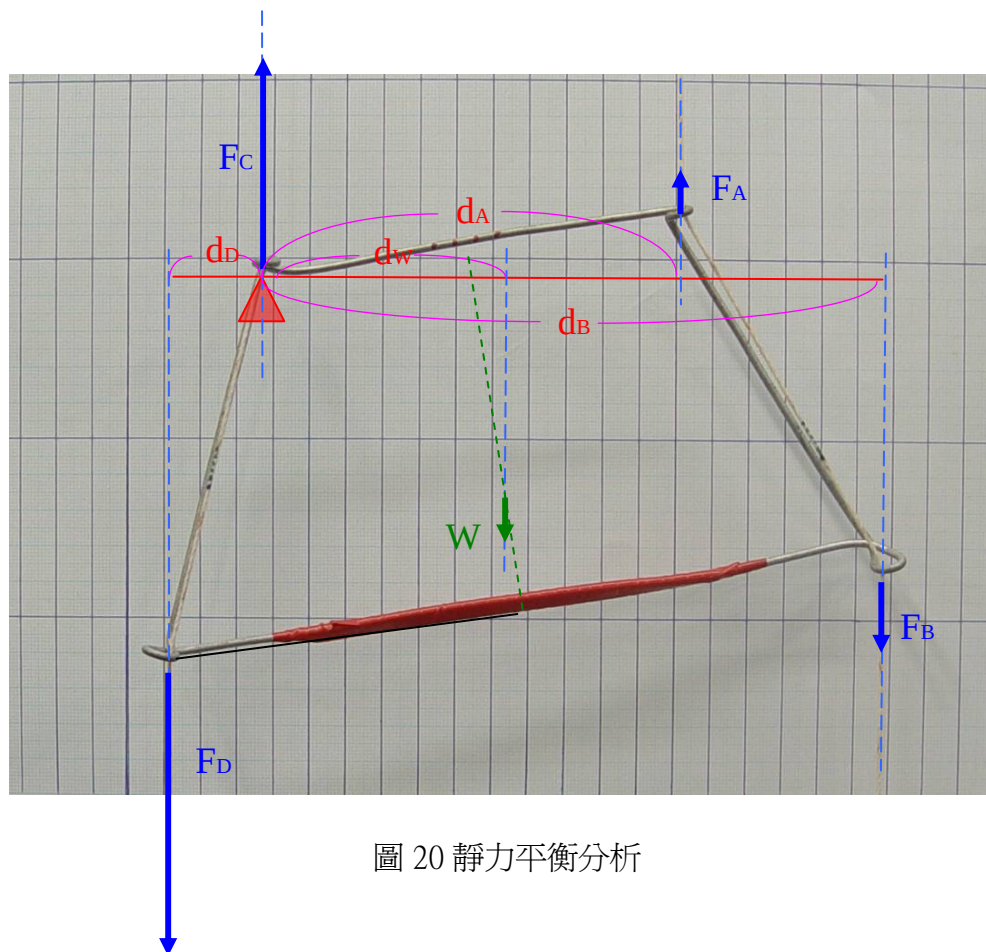


圖 20 靜力平衡分析

2. 同一條繩子下端掛的重量與上端拉力(實驗所計算得到的)的差即為猴子與這條繩子的摩擦力。
3. 左右摩擦力之和(如果負值就要減去)即為總摩擦力，總摩擦力應該等於 XL 猴子的重量 23.6gw

(三)、結果：

1. 如下表(十一)所示。摩擦力(上端-下端)為正時，表示繩子所受的摩擦力向下，也表示猴子所受的摩擦力向上。同理，摩擦力為負的時候，表示猴子所受的摩擦力向下，可知猴子有向上爬升的趨勢。
2. 總摩擦力大約等於猴子重量。而 $F_a + F_c$ 約等於總重量 983.6gw

表十一 由靜力平衡分析摩擦力 單位 gw

圖片	左負重 F_d	右負重 F_b	F_a	左摩擦力 $=F_a - F_b$	F_c	右摩擦力 $=F_c - F_d$	總摩擦力
1	80	880	922	41.7	57.3	-22.7	19.0
2	200	760	758	-1.7	223.7	23.7	22.0
3	480	480	404	-75.7	573.6	93.6	17.9
4	720	240	175	-64.6	813.0	93.0	28.5
5	160	800	736	-64.5	239.0	79.0	14.5
6	280	680	668	-12.3	325.6	45.6	33.4
7	840	120	141	20.8	838.8	-1.2	19.6
8	920	40	67	26.8	915.6	-4.4	22.4

陸、討論：

猴子爬升的原理不像一開始觀察到的那麼單純，吊架種類、形狀、猴子形狀、大小、繩子彈性、長度，甚至施力大小、過程等都是變因。從以上研究：

伍之一，使用固定吊架，或三角型活動吊架，猴子爬升的方式截然不同，比較圖(6)、圖(7)。

伍之三，使用固定吊架或三角型吊架時，爬升步幅與猴子底邊長的關係曲線是相反的變化趨勢，如圖(11)。

伍之四，猴子沿著一端固定的長繩爬升的過程會遇到“瓶頸點”，而且不同的猴子瓶頸點的位置不同，如圖(13)。

伍之五，棉線愈長愈容易伸縮，而且彈力常數與棉線長度大致成反比關係，如圖(14~16)。

伍之六，任一端施力很小時，負重能力也很小，如圖(18)。

綜合以上研究結果，我們歸納出以下想法：

- 一、如果只考慮猴子扭轉著上升的步幅：若作用在左右繩子的拉力差很多，可以使猴子轉到極限。當猴子以A為支點，由A B D C狀態轉到A B'D'C'狀態，C點沿著繩子向上滑動 h_c 而重心上升 $h_c/2$ ，如圖(21)。
- 二、考慮繩子的伸縮性：假設每1公尺的綿線受F的力作用可以伸長x，則L公尺長的繩子受到F作用可以伸長 Lx ，如圖(22)。在一次施力過程中，一邊縮短一邊伸長。兩邊相對改變 $2Lx$ 。
- 三、考慮吊架的影響：當繩子綁在三角形吊架上時，吊架的轉動會改變繩子的起點位置。如圖(23)：吊架由O E F狀態轉到O E'F'狀態，E點下降 h_E ，F點上升 h_F ，兩條繩子的位置就改變了 $h=h_E+h_F$ 。

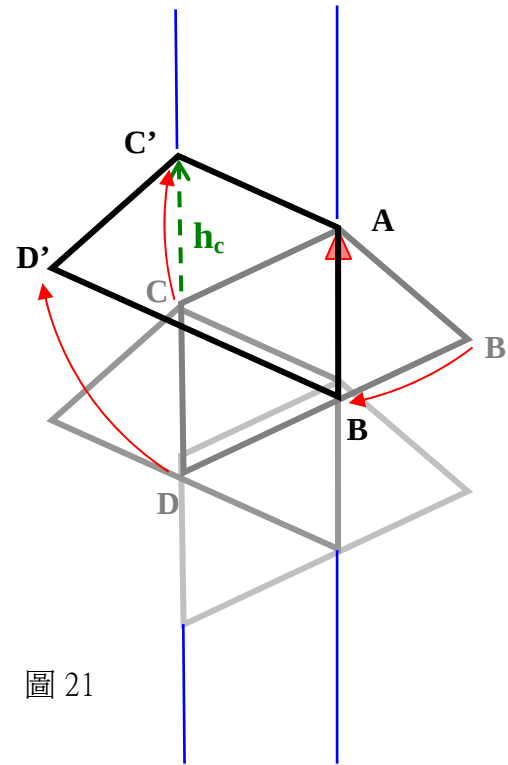


圖 21

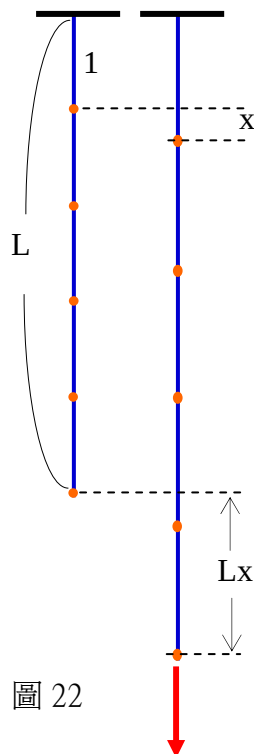


圖 22

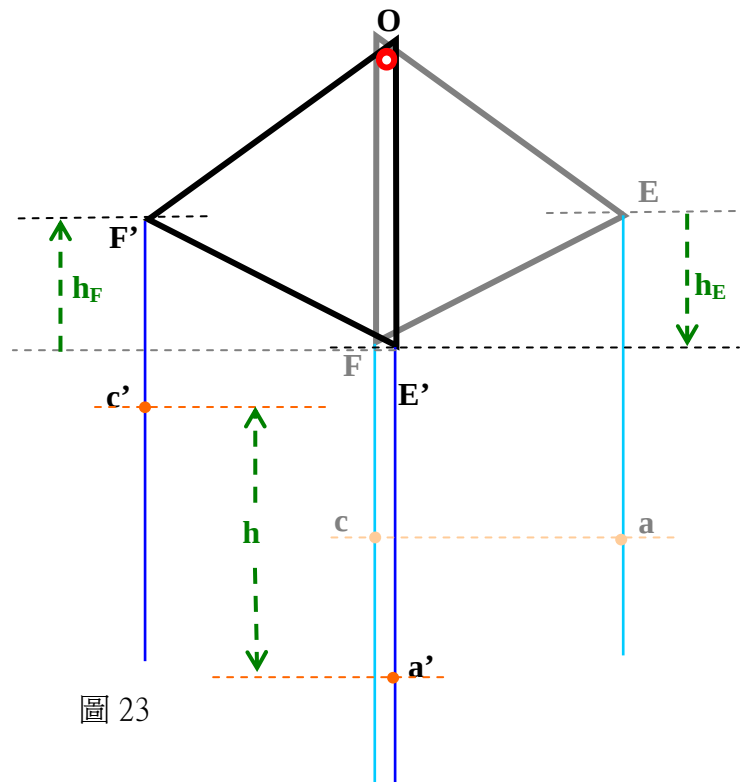


圖 23

- 四、以上二和三共同造成繩子上的位置改變。施力增加的一端比另一端相對下降

$H=h_E+h_F+2Lx$ 。如果使用固定吊架則只需考慮繩子的伸縮量 $2Lx$ 。

- 五、猴子爬升的原理及步幅會因位置及許多條件的相互關係而不同：

(一)、如果H約等於 h_c ，則猴子只會在原地來回轉動，但與繩子沒有相對滑動，此為“瓶頸點”。

- (二)、如果 $H > h_c$ ，則繩子的位置變化先使猴子轉動到極限，之後施力端的繩子繼續被拉下來的距離 $H - h_c$ 即為猴子此端相對上升的步幅。
- (三)、如果 $H < h_c$ ，則繩子的位置變化不及猴子轉動所需的位置改變，因此，猴子轉動造成另一端相對於繩子向上抬升 $h_c - H$ ，即為猴子此端上升的步幅。
- (四)、 $H < h_c$ 時，當兩邊拉力差距較大時，因摩擦力小，力矩逆轉會使猴子下滑一小段距離 y 。

六、摩擦力扮演著非常巧妙的角色。

- (一)、如果任何一端繩子拉力太小，則另一端繩子很容易被拉直。結果，張力小的這一邊摩擦力很小，而拉成直線的這一端因為包覆角很小所以摩擦力也很小，猴子就會滑下來。因此要使猴子爬升，兩邊繩子至少都須維持一最小拉力。
- (二)、上述(五)之 2. 猴子轉動到極限時，繩子已經接近一直線，包覆角幾乎為 0，所以摩擦力變小，繼續施力時繩子克服摩擦力而下滑，因此繩子的下滑現象出現在兩邊拉力差距很大的時候，如圖(6)。
- (三)、上述(五)之 3. 猴子轉動造成的 A、C 點位置變化超過繩子本身的位置改變量，因施力增加的一端包覆角仍大，摩擦力大。而被抬升的一端，摩擦力使得上段繩子張力變小，導致摩擦力變小，猴子此端便向上滑動。因此猴子爬升的現象出現在整個轉動過程，如圖(7)。
- (四)、在瓶頸點附近因為摩擦力的影響，因此會有一段範圍內猴子與繩子沒有相對滑動，如圖(13)。

柒、結論：

- 一、爬樹猴能沿著繩子上升的原理是依靠兩條繩子拉力的交替改變來回扭轉猴子，而猴子的角度(姿勢)不同時，繩子包覆鐵絲的角度就不同，摩擦力隨著改變而使猴子的兩邊輪流向上爬升。
- 二、猴子形狀及大小、吊架種類及大小、繩子彈性及長度、兩邊施力大小及差距等都會影響猴子步幅大小，可用一個關係式大致表示出來，如下：(詳見討論一~五)

$$\text{步幅} = \frac{1}{2} | h_E + h_F + 2L_X - h_c - y |$$

三、猴子的形狀對爬升的影響：

- (一)、梯形效果最好，而且必須要下底長上底短的形狀。
- (二)、三角形也可以，但是過了瓶頸點就上不去了。
- (三)、更多邊形的猴子，摩擦力會變很大不易爬升。
- (四)、梯形猴子的上頂角與上邊長愈大，猴子可以轉動的幅度 h_c 就愈大。

四、使用固定吊架時，影響猴子爬升的因素：

- (一)、影響瓶頸點位置的因素：繩子單位長度的彈力常數 k 愈大、猴子的轉動幅度 h_c 愈大則瓶頸點愈遠離固定端。
- (二)、影響步幅的因素：
 - 1. 大於瓶頸點位置處：距離固定端愈遠、彈力常數 k 愈小、猴子頂角愈小且上

邊長愈小、施力差距愈大，則步幅愈大。

2. 小於瓶頸點位置處：距離固定端愈近、彈力常數 k 愈大、猴子頂角愈大且上邊長愈大、兩邊施力差距愈大(但有限度)，則步幅愈大。
3. 在瓶頸點附近步幅很小，甚至為 0。

五、使用三角型吊架時，影響猴子爬升的因素：

- (一)、影響瓶頸點位置的因素：吊架的頂角愈大、邊長愈大則轉動幅度 $h_E + h_F$ 愈大。
- (二)、當吊架轉動幅度 $h_E + h_F$ 大於猴子轉動幅度 h_C 時就不會出現瓶頸點。而吊架轉動幅度 $h_E + h_F$ 愈小，則愈趨近於固定吊架。
- (三)、影響步幅的因素：
 1. 大於瓶頸點位置處：吊架轉動幅度 $h_E + h_F$ 愈大，則步幅愈大。其餘因素影響同上。
 2. 小於瓶頸點位置處：吊架轉動幅度 $h_E + h_F$ 愈小，則步幅愈大。其餘因素影響同上。
 3. 在瓶頸點附近步幅很小，甚至為 0。

六、繩子與猴子之間的摩擦力只要適中猴子就可以上升，摩擦力大一些或小一些對步幅的影響不大。但若摩擦力太大或表面不平整的繩子，則可能使猴子無法順著繩子向上滑。而使用太光滑的繩子，撐不住猴子的重量，除非拉力加得更大。

七、影響猴子負重能力的因素有：

- (一)、繩子與猴子之間的摩擦力愈大愈能負重，本實驗所用的繩子：棉線>尼龍絞絆線>佛珠線>金屬光澤的塑膠線。
- (二)、拉力愈大負重能力愈強，只要任何一邊施力太小猴子都會滑下來。當兩邊總力合固定時，以兩邊施力愈接近負重能力愈強。

捌、參考資料：

- 一、南一出版社(民 95)。國中自然與生活科技課本第 4 冊、第 5 冊。台南縣：南一。
- 二、酒井高男(民 89)。力學的趣味實驗。新竹市：凡異。

【評 語】 031603 爬樹猴之爬升研究

1. 本研究改變幾何結構，系統化從事實驗探討，對其本現象觀察及定量化數據分析討論，學生應習得實驗動手探究科學能力。
2. 本研究探索應有所進步性，亦即對既有知識或文獻，先作收集理解，計劃研究實驗之結果是否有所創新。猴子爬升童玩必然是運用摩擦力之緣故，故本研究應思考如何設計實驗而有創新發現，或有所新應用的啓思。