

森林裡的摩擦力

摘要

因為在森林裡面找不到適當的石頭把鍋子架起來，沒辦法煮東西了。卻學會了利用「鋼繩」纏繞「樹幹」的方法，把鍋子吊起來燒火煮東西。這麼簡單怎麼這麼好用呢？引起我們研究的動機。

我們設計一個可以把樹幹固定的簡單實驗器，分別測量第一個缺口、第二個缺口的摩擦力，測量鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力，計算出鋼繩纏繞樹幹的摩擦係數，因此發現鍋子越重，鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力就越大。

我們還根據實驗的結果，設計二個有趣的科學遊戲，可以從遊戲中學習摩擦力。

壹、研究動機



去年，長老帶我們前往那瑪夏邊界的一處原始森林，辦理一年一度的挑戰營活動，正當我們要準備煮晚餐的時候，發現在那個山頂上竟然找不到適當的石頭把鍋子架起來，鍋子架不起來，當然就不能煮東西了。

這時候一位長老教我們砍「一段樹幹」，利用他們做陷阱常用的「鋼繩」纏繞在樹幹上，就把鍋子吊起來，下面燒火開始煮東西了。那二天的挑戰營活動，我們都靠那一根樹幹煮飯、煮麵、燒開水、煮宵夜，鍋子從來沒有中途掉下來，讓我們覺得很神奇，一根樹幹和一條鋼繩的組合，這麼簡單怎麼這麼好用呢？我們決定用科學的方法來探討這其中的巧妙之處。

貳、研究目的

- 一、測試鋼繩纏繞樹幹這個裝置的耐用程度。
- 二、探討鋼繩與第一個缺口（V 字形缺口）產生的摩擦力。
- 三、探討鋼繩與第二個缺口（C 字形缺口）產生的摩擦力。
- 四、探討鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力。
- 五、測試不同繩索纏繞樹幹產生的摩擦力。
- 六、測試吊掛的重量與摩擦力的關係。
- 七、利用摩擦力設計有趣的科學遊戲。

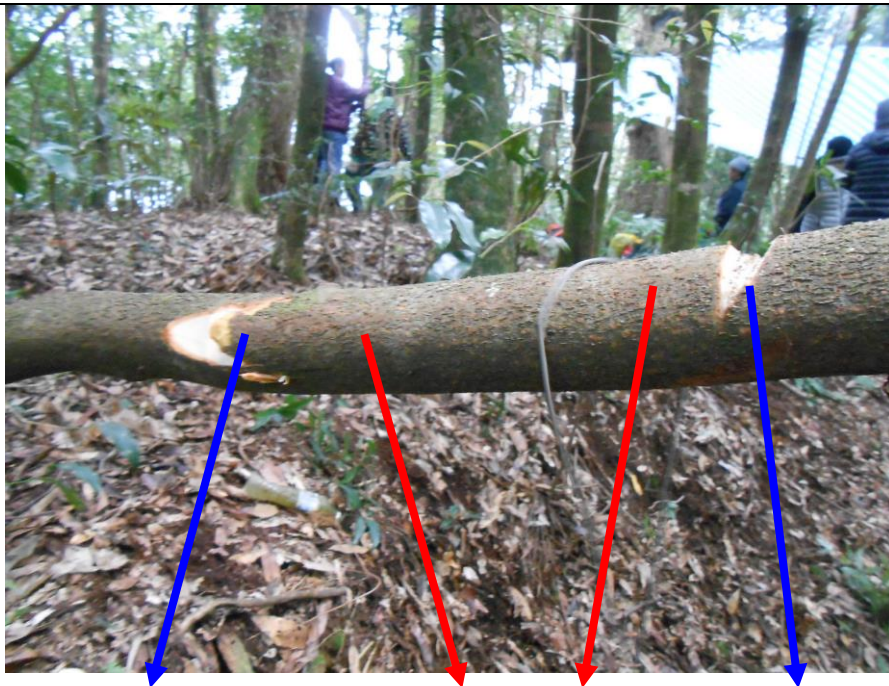
參、研究設備及器材

樹幹、鋼繩、尼龍繩、麻繩、自製摩擦力實驗器、彈簧秤、重物等。

肆、研究過程與結果

一、「鋼繩纏繞樹幹」的操作方法說明：

- （一）準備一根樹幹，直徑約 5~8 公分，長度 2~3 公尺，靠近尾端的位置切二個缺口，第一個是 V 字形的缺口，第二個是 C 字形的缺口。
- （二）直徑約 0.5 公分的細鋼繩綁住鐵鍋，把鋼繩放在第一個缺口上面避免鋼繩滑動，鋼繩繼續在樹幹上繞二圈，最後鋼繩尾端卡進第二個缺口裡面夾住就可以了。
- （四）把鍋子吊起來，下面燒火就可以煮食物。
- （五）食物煮好以後，只要把鋼繩從 C 字形缺口拉出來，就可以把整個鍋子慢慢放下來。



3、鋼繩尾端卡進第二個缺口，就完成了。

2、鋼繩在這一段樹幹上繞二圈。

1、吊鐵鍋的鋼繩繞過第一個缺口避免鋼繩滑動。



以前大家在森林裡練習這個方法的相片



我們在學校裡面練習、實驗的相片

二、 測試鋼繩纏繞樹幹這個裝置的耐用程度

在山上的時候，這個裝置使用了二天，每一餐要煮 30 個人的食物。從第一天的晚餐、宵夜到第二天的早餐、午餐，外加開水，連續使用將近 20 個小時，鍋子吊上去、拿下來，上上下下超過 10 次，從來沒有中途掉下來，所以我們想要測試這個裝置有多耐用。

(一) 實驗方法：

- 1、把一個裝水總重 20 公斤的大鐵鍋吊起來，再慢慢加水，觀察可以承載多大的重量？
- 2、把一個裝水總重 20 公斤的大鐵鍋吊起來，觀察多久之後會掉下來？
- 3、把一個裝水總重 20 公斤的大鐵鍋吊起來，把鋼繩從 C 字形缺口拉出來又卡進去，大約每隔 10 分鐘做一次，觀察這個裝置可以使用多少次？

(二) 實驗結果

	承載重量		承載時間		使用次數	
裝置 1	>39 公斤	沒有掉	>72 小時	沒有掉	=40 次	掉下來
裝置 2	=35 公斤	掉下來	>72 小時	沒有掉	>42 次	沒有掉
裝置 3	>42 公斤	沒有掉	>72 小時	沒有掉	>42 次	沒有掉

(三) 討論：

- 1、大鐵鍋裝滿水大約是 35 公斤，我們把水罐（或水袋）吊在鍋子外面增加重量，因為工具不夠，承載重量實驗只做到 42 公斤，如果鍋子更大應該可以更重。
- 2、承載時間的實驗，達到三天 72 小時之後，我們把鋼繩取下結束實驗。
- 3、使用次數的實驗，每一次要做二天，每天大約做 20 次。我們發現鍋子下來的原因是：樹幹上第二個缺口（C 字形缺口）用久了會壞掉，沒有辦法夾住鋼繩，導致鍋子掉下來。
- 4、實驗發現：「鋼繩纏繞樹幹」這個裝置，承載重量有 35 公斤以上，承載時間超過 72 小時，使用次數達 40 次，是非常耐用的裝置。難怪我們在山上連續使用 20 小時都沒有掉下來，讓整個活動順利完成。



承載時間的實驗



承載重量的實驗

(黑黑的大鐵鍋就是在森林裡用的那一個)

三、探討鋼繩與第一個缺口（V 字形缺口）產生的摩擦力

（一）實驗方法：

- 1、將短樹幹切出「V 字形缺口」放在「摩擦力實驗器」上面。
- 2、鋼繩吊一個重 1000 公克的重物，鋼繩繞過定滑輪放在 V 字形缺口之上。
- 3、鋼繩放好之後，用彈簧秤拉住鋼繩尾端保持固定，慢慢放鬆直到重物向下掉為止，計算鋼繩與 V 字形缺口產生的摩擦力。

（二）實驗結果：(參考附表一)

單位：公克

	缺口 1	缺口 2	缺口 3	缺口 4	缺口 5	缺口 6	缺口 7	缺口 8	缺口 9	缺口 10	總平均
平均 摩擦力	263	283	280	223	277	210	210	197	163	187	229



V 字形缺口摩擦力的實驗



V 字形缺口摩擦力的實驗

(三) 討論：

- 1、第一個缺口（V 字形缺口）在整個裝置中，最主要的功能是要讓鋼繩經過缺口凹槽，避免鋼繩滑動，但是物體跟物體接觸就會產生摩擦力，所以也須要分析這個缺口的摩擦力。
- 2、實驗發現：在重物 1000 公克的條件下，鋼繩和第一個缺口（V 字形缺口）大約會產生 230 公克的摩擦力。

四、探討鋼繩與第二個缺口（C 字形缺口）產生的摩擦力

(一) 實驗方法：

- 1、將短樹幹切出「C 字形缺口」放在「摩擦力實驗器」上面。
- 2、鋼繩綁一個空水桶，將鋼繩繞過定滑輪，鋼繩尾端卡進 C 字形缺口夾住。
- 3、把水桶吊起來之後，慢慢增加水桶的重量，直到水桶掉下來為止，計算 C 字形缺口夾住鋼繩的摩擦力。

(二) 實驗結果：(參閱附表二)

單位：公克

	缺口 1	缺口 2	缺口 3	缺口 4	缺口 5	缺口 6	缺口 7	缺口 8	缺口 9	缺口 10	總平均
平均 摩擦力	1300	1880	2640	1667	1300	1300	1367	2114	2400	2780	1875



C 字形缺口的摩擦力實驗



C 字形缺口夾住鋼繩

(三) 討論：

- 1、第二個缺口（C 字形缺口）在裝置中的主要功能是夾住鋼繩尾端，鋼繩不會滑掉就可以把鍋子吊在起來，鋼繩也可以拉出來放下鍋子，所以 C 字形缺口也等於是這個裝置的開關。
- 2、實驗發現：C 字形缺口夾住鋼繩會產生大約 1900 公克的摩擦力。
- 3、因為 C 字形缺口是這個裝置的開關，鋼繩拉來拉去不小心會把缺口弄壞操作上要比較小心。

五、探討鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力

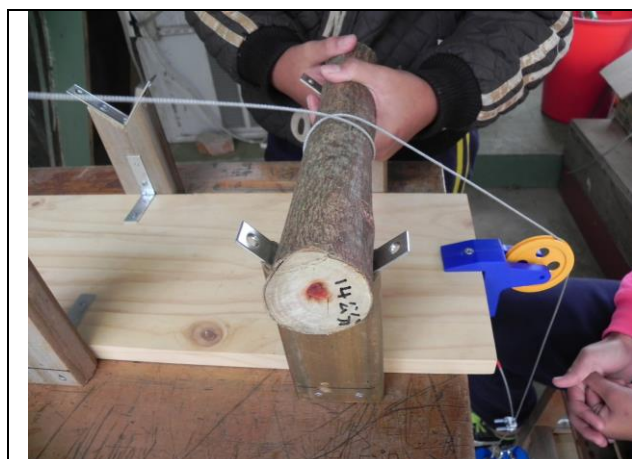
(一) 實驗方法

- 1、取同一棵樹粗細不同的樹幹，一根周長 14 公分，一根周長 20 公分。
- 2、用纏繞 1 圈、2 圈、3 圈的方式控制纏繞的長度。
- 3、鋼繩綁 1000 公克的重物，將鋼繩繞過定滑輪，再纏繞樹幹。
- 4、鋼繩尾端用彈簧秤拉住固定，慢慢放鬆直到重物掉下為止，計算鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力。

(二) 實驗結果 (參考附表三)

單位：公克

	14 公分×1 圈		14 公分×2 圈		20 公分×1 圈		20 公分×2 圈		20 公分×3 圈	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
平均 摩擦力	366	634	171	829	261	739	114	886	50	950
摩 擦 係 數		0.63		0.83		0.74		0.89		0.95



用周長 14 公分的樹幹做實驗



用周長 20 公分的樹幹做實驗

(三) 討論：

- 1、當初長老教我們的時候，一直強調「鋼繩要纏繞二圈」力量才夠，我們除了做纏繞二圈的實驗，也做纏繞一圈和三圈的實驗。
- 2、實驗發現：20 公分×3 圈的摩擦力 > 20 公分×2 圈 > 14 公分×2 圈 > 20 公分×1 圈 > 14 公分×1 圈，因此纏繞距離越長，產生的摩擦力越大。
- 3、我們分開測試「V 字形缺口」、「C 字形缺口」的摩擦力，以及鋼繩纏繞二圈的摩擦力，三個位置的平均摩擦力加起來至少有 2600 公克，明顯大於重物的重量 (1000 公克)。

六、測試不同繩索纏繞樹幹產生的摩擦力

(一) 實驗方法：

分別用鋼繩、塑膠繩、麻繩吊 1000 公克重物，繞過定滑輪再纏繞樹幹二圈（周長 20 公分），另一端以彈簧秤拉住慢慢放鬆直到重物掉下來為止，計算三種繩索纏繞樹幹產生的摩擦力。

(二) 實驗結果：(參閱附表四)

單位：公克

	鋼繩		塑膠繩		麻繩	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
平均摩擦力	114	886	162	838	0	1000
摩擦係數		0.89		0.84		1



塑膠繩的實驗



左邊的麻繩已經鬆了，重物還沒掉下來

(三) 討論

- 1、實驗過程中發現麻繩最有趣，彈簧秤這一端放到完全沒有拉力繩子都下垂了，重物居然掉不下來，完全只靠纏繞二圈的摩擦力，就拉住 1000 公克的重物。
- 2、實驗發現：麻繩的摩擦係數最大，其次是鋼繩，塑膠繩最小。

七、測試吊掛的重量與摩擦力的關係

雖然我們大部分都是用 1000 公克的重物實驗，但是在挑戰營的活動中我們已經見識過煮食物的真實情況，而且前面的研究也已經知道鋼繩纏繞樹幹二圈可以承受 40 公斤以上的重量。因此我們要分析重量不同時，重量與摩擦力的關係。

(一) 實驗方法：

- 1、我們以鋼繩吊重物纏繞樹幹（周長 20 公分）二圈的方法做這組實驗，分別測量 1000 公克、2000 公克、3000 公克、4000 公克、5000 公克的重物，計算它們的摩擦力。
- 2、嘗試以「重量×摩擦係數＝摩擦力」的公式，計算每一組實驗的摩擦係數。

(二) 實驗結果：(參閱附表五)

單位：公克

	1000		2000		3000		4000		5000	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
平均 摩擦力	114	886	219	1781	333	2667	360	3640	517	4483
摩擦 係數		0.89		0.89		0.89		0.91		0.90

(三) 討論：

- 1、實驗發現：當重量增加時，鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力也跟著增加。
- 2、經過計算發現：這五組的裝置摩擦係數都很接近 0.9，所以符合摩擦係數只跟材質有關，跟重量無關的原理。

八、利用摩擦力設計二個科學遊戲

經過一連串的實驗，我們發現有二個很有趣的特點可以設計成科學小遊戲：一、繩索纏繞的圈數越多摩擦力越大；二、麻繩的摩擦係數很大的材料。設計的科學遊戲如下：

(一) 多對一拔河比賽

1、遊戲材料：繩索、柱子。

2、遊戲規則：

- (1) 將繩索纏繞柱子二圈之後拉直。一人拉住繩索的 A 端，其他人拉繩索的 B 端。
- (2) 比賽勝負：看「多人的那一端」是否拉贏「一人的那一端」。

3、遊戲的教育價值：

- (1) 「多人的那一端」好像應該拉贏「一人的那一端」，其實很難。因為繩索纏繞柱子二圈之後產生的摩擦力很大，很難克服。
- (2) 「一人的那一端」有一夫當關萬夫莫敵的成就感，可以讓同學深深體會到摩擦力的厲害。

(二) 白米拔河比賽

1、遊戲材料：麻繩、白米、養樂多瓶。

2、遊戲規則：

- (1) 將麻繩約 10—15 公分放進養樂多瓶中，再把白米倒滿養樂多瓶。這時「麻繩和白米的摩擦力」會大於「白米的重量」，所以可以把整瓶白米提起來。
- (2) 二組準備好之後，把二個養樂多瓶綁在一起，比賽開始二邊一起拉，哪一邊先掉下來就輸了。

3、遊戲的教育價值：

- (1) 剛開始勝負有一些運氣，之後同學就會想辦法增加摩擦力。
- (2) 遊戲規則限制越少同學會激發越多的創意和方法，從過程中體會更多摩擦力的應用。



白米拔河比賽



多對一拔河比賽

伍、結論

- 一、鋼繩纏繞樹幹這個裝置，它能夠承受的重量、時間，及耐用的程度都超過我們生活的需求，所以具有很高的實用性，很適合野外活動使用。
- 二、在鋼繩纏繞樹幹這個裝置中，有三個地方會產生摩擦力，分別是第一個 V 字形缺口、第二個 C 字形缺口、以及鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力，三處的摩擦力總和大於鍋子的重量，所以能用來吊掛大鐵鍋烹煮食物。
- 三、鋼繩纏繞樹幹的距離越長，摩擦係數越大，產生的摩擦力也越大，所以實際運用時如果找到的樹幹比較小支，增加纏繞的圈數就可使用。
- 四、生活中常見的繩索中，以麻繩產生的摩擦力最大，需要增加摩擦力時，應該選擇麻繩來使用。
- 五、本研究發現在這種「鋼繩纏繞樹幹」的裝置中，摩擦係數和「材質」有關也和「纏繞距離」有關，纏繞距離越長摩擦係數越大。
- 六、利用摩擦力可以設計出許多有趣的科學遊戲，本研究根據實驗過程的發現設計二個遊戲藉以拋磚引玉。

陸、研究限制

- 一、本研究中用來實驗的每一「小段樹幹」和「長樹幹」，粗糙程度用手摸的感覺很相近，但是並不是同一種樹木，所以摩擦係數會有差異。
- 二、自製的摩擦力實驗器，可以把「V 字形缺口」、「C 字形缺口」、「纏繞鋼繩」分解，單獨測量每一部分的摩擦力，但是和「整個裝置」畢竟不同。
- 三、根據研究二得到「V 字形缺口」摩擦力約 200 公克、「C 字形缺口」摩擦力約 1800 公克，二個缺口加起來大約 2 公斤的摩擦力、「纏繞鋼繩二圈」摩擦係數約 0.9。當重物 40 公斤時，纏繞鋼繩二圈可以產生 36 公斤的摩擦力，表示「V 字形缺口」加「C 字形缺口」的摩擦力需要有 4 公斤以上才能承受 40 公斤的重量。二者的誤差需要精密的實驗設計和儀器才能得到更精確的研究結果。

四、根據我們查到的資料， $\text{摩擦力} = \text{摩擦係數} \times \text{施力}$ ，施力是指物體接觸面的正向力，我們的實驗「鋼繩是纏繞樹幹」，似乎不能用一般摩擦力的公式解釋，但是也沒有更好的方法。

陸、參考資料

(一) 書籍資料：

1、國小自然與生活科技六下，翰林出版公司。

(二) 網頁資料：

摩擦力

<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1305092517984>

<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1508092811764>

附表：

附表一：鋼繩與 V 字形缺口產生的摩擦力統計表

	缺口 1	缺口 2	缺口 3	缺口 4	缺口 5	缺口 6	缺口 7	缺口 8	缺口 9	缺口 10	總平均
第一次	280	300	270	220	200	210	210	240	240	170	
第二次	260	250	290	210	310	210	210	240	140	200	
第三次	250	300	280	240	320	210	210	110	110	190	
平均	263	283	280	223	277	210	210	197	163	187	229

附表二：鋼繩與 C 字形缺口產生的摩擦力統計表

	缺口 1	缺口 2	缺口 3	缺口 4	缺口 5	缺口 6	缺口 7	缺口 8	缺口 9	缺口 10	總平均
第一次	1400	1600	2600	1400	1800	1800	1000	1600	2400	1800	
第二次	1200	1600	2200	1600	1400	1200	1000	2200	2000	2200	
第三次	1000	1800	2600	1800	1000	1400	1000	3000	2400	2800	
第四次	1200	2000	2800	1600	1000	1400	1200	1800	2600	3400	
第五次	1400	1800	3400	1600	1200	1000	2000	1800	2600	2600	
第六次	1600	1800	3000	2000	1400	1000	2000	2400	缺口 壞了	3400	
第七次	1200	1600	2800	缺口 壞了	缺口 壞了	缺口 壞了	缺口 壞了	2000		3200	
第八次	1400	2400	3600					2600			
第九次	1400	2200	2000					3000			
第十次	1200	2000	1400					2800			
平均	1300	1880	2640	1667	1300	1300	1367	2114	2400	2780	1875

附表三：鋼繩纏繞樹幹產生的摩擦力統計表

	14x1		14x2		20x1		20x2		20x3	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
第一次	350	650	150	850	250	750	110	890	50	950
第二次	370	630	200	800	240	760	120	880	50	950
第三次	360	640	180	820	260	740	120	880	50	950
第四次	370	630	180	820	250	750	110	890	50	950
第五次	370	630	170	830	260	740	120	880	50	950
第六次	380	620	180	820	250	750	110	890	50	950
第七次	380	620	160	840	260	740	110	890	50	950
第八次	370	630	160	840	280	720	110	890	50	950
第九次	360	640	160	840	290	710	120	880	50	950
第十次	350	650	170	830	270	730	110	890	50	950
平均		634		829		739		886		950
摩擦係數		0.63		0.83		0.74		0.89		0.95

附表四：不同繩子纏繞樹幹產生的摩擦力

	鋼繩		塑膠繩		麻繩	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
第一次	110	890	180	820	0	1000
第二次	120	880	140	860	0	1000
第三次	120	880	160	840	0	1000
第四次	110	890	170	830	0	1000
第五次	120	880	170	830	0	1000
第六次	110	890	150	850	0	1000
第七次	110	890	170	830	0	1000
第八次	110	890	160	840	0	1000
第九次	120	880	160	840	0	1000
第十次	110	890	160	840	0	1000
平均		886		838		1000
摩擦係數		0.89		0.84		1

附表五：不同重量產生的摩擦力

	1000 公克		2000 公克		3000 公克		4000 公克		5000 公克	
	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力	拉力	摩擦力
第一次	110	890	190	1810	270	2730	300	3700	500	4500
第二次	120	880	200	1800	300	2700	400	3600	520	4480
第三次	120	880	210	1790	300	2700	350	3650	550	4450
第四次	110	890	230	1770	300	2700	350	3650	470	4530
第五次	120	880	220	1780	300	2700	350	3650	500	4500
第六次	110	890	210	1790	390	2610	350	3650	530	4470
第七次	110	890	230	1770	390	2610	350	3650	540	4460
第八次	110	890	230	1770	350	2650	400	3600	490	4510
第九次	120	880	240	1760	360	2640	400	3600	530	4470
第十次	110	890	230	1770	370	2630	350	3650	540	4460
平均		886		1781		2667		3640		4483
摩擦 係數		0.89		0.89		0.89		0.91		0.90