

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030111

水的「摩」力

學校名稱：新北市立土城國民中學

作者： 國二 王思涵 國二 周茹襄	指導老師： 李家銘 莊佩蓁
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：最大靜摩擦力、水、界面

摘要

生活當中，數鈔票時手指都要沾些水，似乎是因為水會增加手指與鈔票之間摩擦力；天雨路滑下雨天騎機車要特別小心謹慎，是因為水會減少輪胎與地面之間摩擦力。為了探討兩介質相互摩擦時，水的加入會增加摩擦力，還是會減少摩擦力，我們展開了一連串的實驗：

- 一、測量刀子及其他材質與砂紙沾水前和沾水後最大靜摩擦力的狀況(線狀)。
- 二、測量鞋底與不同界面沾水前和沾水後最大靜摩擦力的狀況(面狀)。
- 三、測量皮革(模仿手指)與紙鈔沾水前後最大靜摩擦力的狀況。
- 四、測量水量多寡對介質間最大靜摩擦力的影響。
- 五、利用噴有奈米材質的界面，探究介質間加水後最大靜摩擦力變化的因素。

本研究主要結果發現：

- 一、並不是有如文獻中所說的「水的存在會減少摩擦力」。而是水在摩擦力的世界中，竟然扮演著雙重角色，某些情況下它既能降低接觸面之間的最大摩擦力，在另外一些情況中卻增加接觸面之間的最大靜摩擦力。
- 二、我們推論：在加入少許水時，介質間最大靜摩擦力是增加的；但加入更多水量後，介質間最大靜摩擦力反而會減少，這推論在此研究中經實驗證實。
- 三、利用奈米塗料降低水與介質之間附著力，我們證實當兩介質中加入少許水時，最大摩擦力違反減少的趨勢，反而逆勢增加之原因為：水與介質之間附著力大於水與水之間內聚力之作用。

壹、研究動機

每到雨季時，新聞上總是播著機車騎士滑跤的意外事件，原因皆是下雨時，路面上常有一攤攤的積水，容易讓機車輪胎打滑，行車非常的危險。車子輪胎靠著與地面之間摩擦力前進，而下雨天的雨水影響了摩擦力的性質。水的影響是減少摩擦力還是增加摩擦力呢？像生活中數鈔票、彈手指或是磨刀時，都需要沾些水，感覺上加了水反而是增加摩擦的效果，我們想要進行實驗來了解兩種物質的介面間加入水，摩擦力是否會有所影響，其中的變因是在於水量多寡、施力大小或摩擦表面材質而有所不同。

貳、研究目的

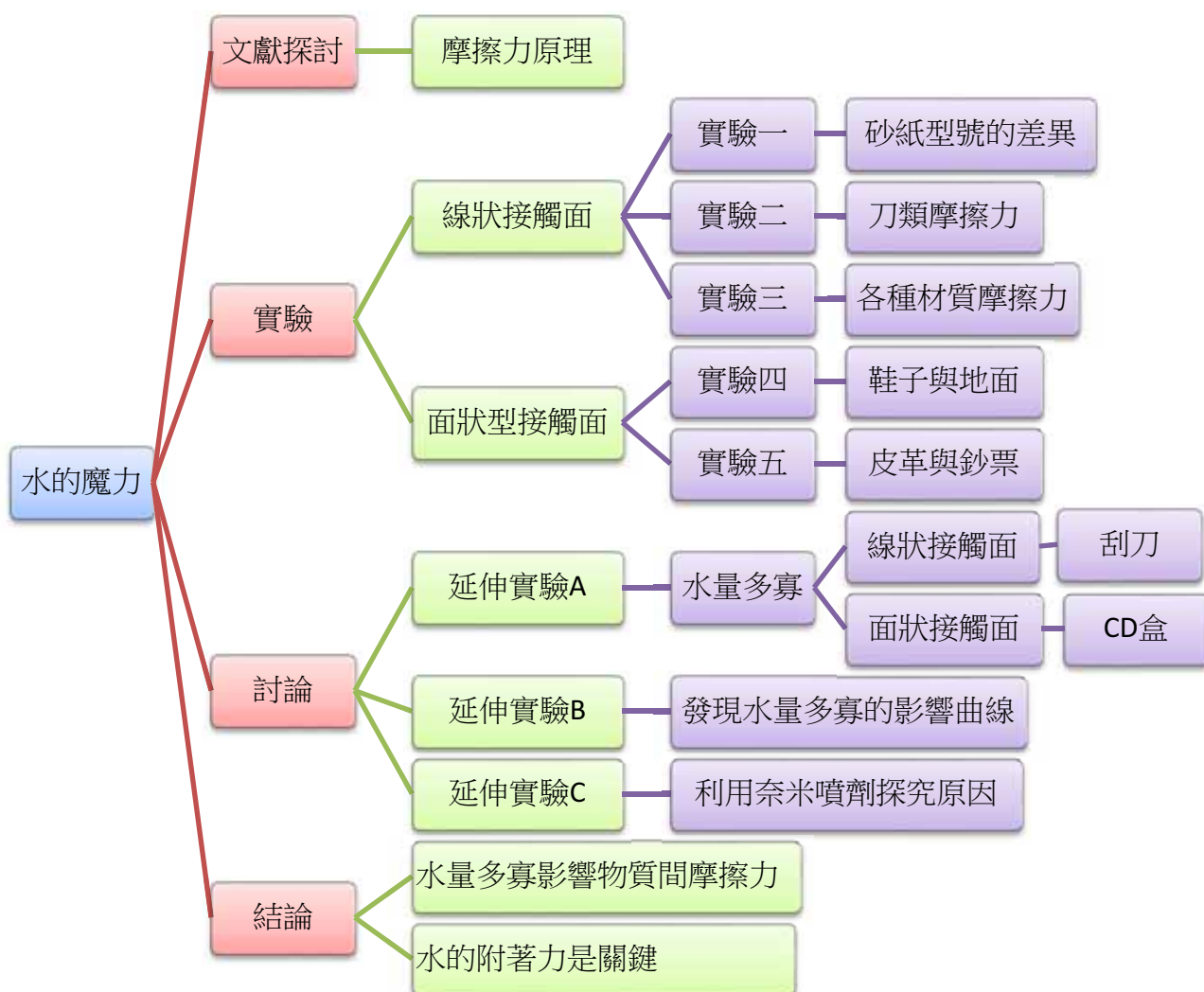
- 一、本研究之目的為探討水對兩物質間摩擦力的影響，研究目的有：
 - (一) 找出砂紙號碼與顆粒大小的關係
 - (二) 探究刀具(已使用砝碼加重)與砂紙加水前後摩擦結果——線形
 - (三) 探討不同材質平板與砂紙加水前後的摩擦結果——線形
 - (四) 研究在乾燥或潮濕時鞋底對於各種路面的摩擦力大小——面狀
 - (五) 探討潮濕程度對皮革(模擬皮膚)與紙鈔的摩擦力大小——面狀
 - (六) 研究水量多寡對於線狀及面狀接觸面的影響
 - (七) 探究奈米材質加水前後的摩擦情形——面狀

參、研究器材及設備

種類	名稱	數量	規格
設備	電腦	1 台	
	相機	1 台	
器材	水果刀	1 把	
	菜刀	1 把	
	刮刀	1 支	
	鐵片	1 片	
	玻璃板	1 個	
	CD 殼	1 個	
	三角板	1 個	
	噴霧器	1 個	
	皮革	1 塊	
	一百元紙鈔	1 張	
	砂紙	4 張	80、100、120、320、 600、2000c
	膠帶	1 捆	
	尼龍線	1 捆	
	彈簧秤	1 個	
	砝碼	數個	
	滴管	1 個	
	玻璃棒	1 個	
	量筒	1 個	
	自製∏型架	1 組	
	奈米防潑水噴霧	1 罐	

肆、研究過程與方法

一、研究架構圖



二、文獻探討

(一) 摩擦力的產生原理：

不管是多麼光滑的表面，若以放大鏡仔細觀察將發現表面凹凸不平。當兩接觸面間有相對運動或兩界面間沒有相對運動但有相對運動的趨勢時，我們就可以測得摩擦力。

(二) 摩擦力的性質：

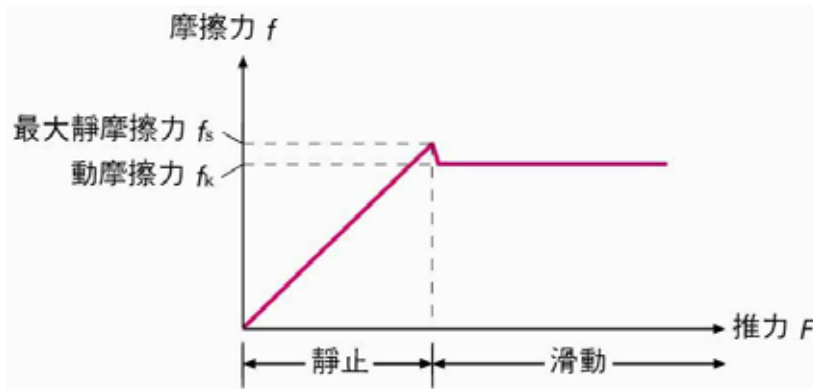
以生活中的例子來說，一個靜止放在水平地面上的木櫃，是不會受到摩擦力的作用。

如右圖，當某人沿水平方向輕推它時，木櫃雖然受了力，但結果不動，為什麼？



那是因為這時地面作用於木櫃底面的摩擦力，抵消了人的推力，即推力和摩擦力的大小相等，方向相反。我們稱這時的摩擦力為靜摩擦力。

如果此人繼續增大推力，則靜摩擦力亦隨之等值變大。當推力增至某一大小時，木櫃開始滑動，此時的摩擦力稱為最大靜摩擦力。一旦木櫃滑動後，摩擦力會略減，且保持定值（和推力的大小無關、也與速度無關），稱為動摩擦力，其方向和物體滑動的方向相反。



上圖為推動木櫃過程中「推力與最大靜摩擦力、動摩擦力的關係圖」，我們發現一開始推動木櫃時，推力與靜摩擦力「大小相等、方向相反、作用於同一物體上」，恰好互相抵銷，此時木櫃不移動。當直到外力超過最大靜摩擦力時，物體便會開始與界面間有相對運動，此時為動摩擦。通常動摩擦力稍小於最大靜摩擦力。

文獻中指出：摩擦力的大小和接觸面的性質有關且通常與兩界面間的正向力成正比。因此常表示為：

$$f = \mu N$$

μ 稱為摩擦係數，由兩接觸面間性質決定。

N 則為兩接觸面間互相壓緊的力(正向力)，也就是垂直於接觸面方向的作用力。

一些材料的 <u>靜摩擦係數</u>	
材料	μ
汽車的煞車襯片在煞車鼓上	1.2
乾輪胎在乾的瀝青路面上	1.0
鋼塊在鋼板上	0.8
溼輪胎在溼的瀝青路面上	0.2
木塊在冰面上	0.05
鐵弗龍（teflon）在鋼板上	0.04

從上表所列輪胎在瀝青路面的靜摩擦係數，在積水的瀝青路面上，要比在乾燥路面上小很多，這也是本研究中非常重要的文獻依據，我們將於實驗中驗證水是否會減少物質間的摩擦力。

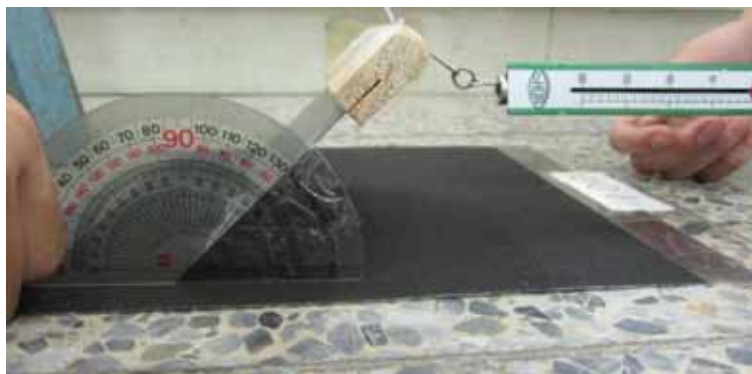
(三) 無論物質為固體、液體、氣體，任何兩界面間皆能產生摩擦力。找出摩擦力在生活上的應用：

1. 以磨刀石磨刀。
2. 輪胎和地面摩擦造成的煞車現象。
3. 游泳池旁走道常有塑膠墊。
4. 原子筆前端有橡膠握柄。
5. 筷子前端加些刻紋。
6. 有些樓梯每一階上都有防滑條。
7. 當戒指卡在手上時，抹點肥皂或油就能解決。
8. 雨滴由高空中落下，會受到空氣給予的摩擦力，以致落下之速率不會太快。

三、實驗方法：

(一)實驗一：

1. 實驗目的：
以刮刀(已加入 270g 砝碼)為例，探討砂紙號碼與顆粒大小的關係。
2. 實驗器材：
砂紙(120C、320C、600C)、刮刀、彈簧秤、膠帶、尼龍線、砝碼
3. 實驗步驟：
 - (1) 架設 $\square$ 形固定架。
 - (2) 在刮刀上固定尼龍繩及鉤環。
 - (3) 讓刮刀與砂紙的夾角呈 45 度。
 - (4) 將提起刮刀的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
 - (5) 將彈簧秤勾住鉤環。
 - (6) 用彈簧秤拉動刮刀並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖

(二)實驗二：

1. 實驗目的：

探究刀具(已使用砝碼加重)與砂紙加水前後摩擦結果——線形。

2. 實驗器材：

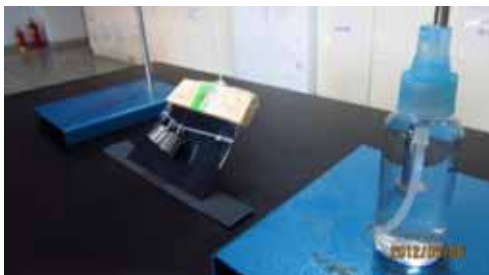
砂紙(120C、320C、600C)、水果刀、刮刀、菜刀、彈簧秤、膠帶、尼龍線、量筒、砝碼、滴管、玻璃棒。

3. 實驗步驟——加水前：

- (1) 架設 Γ 形固定架在刀子上。
- (2) 固定尼龍繩及鉤環讓刀子與砂紙的夾角呈 45 度。
- (3) 將提起刀子的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
- (4) 將彈簧秤勾住鉤環。
- (5) 用彈簧秤拉動刀子並測出最大靜摩擦力。

4. 實驗步驟——加水：架設 Γ 形固定架在刀子上。

- (1) 固定尼龍繩及鉤環。
- (2) 以滴管在砂紙上滴 5 滴水(約 0.25mL)。
- (3) 用玻璃棒快速的將水滴抹均勻讓刀子與砂紙的夾角呈 45 度。
- (4) 將提起刀子的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
- (5) 將彈簧秤勾住鉤環。
- (6) 用彈簧秤拉動刀子並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖

(三)實驗三：

1. 實驗目的：

測試不同材質平板與砂紙加水前後的摩擦結果——線形。

2. 實驗器材：

砂紙、玻璃板、三角板(加上 200g 砝碼)、CD 殼(加上 290g 砝碼)、鐵片、彈簧秤、膠帶、尼龍線、量筒、滴管、玻璃棒。

3. 實驗步驟——加水前：

- (1) 架設 Γ 形固定架。
- (2) 在玻璃板、三角板上固定尼龍繩及鉤環。
- (3) 讓物體與砂紙的夾角呈 45 度。
- (4) 將提起物體的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
- (5) 將彈簧秤勾住鉤環。
- (6) 用彈簧秤拉動物體並測出最大靜摩擦力。

4. 實驗步驟——加水：
- (1) 架設 $\square$ 形固定架。
 - (2) 在物體上固定尼龍繩及鉤環。
 - (3) 以滴管在砂紙上滴 5 滴水(約 0.25mL)。
 - (4) 用玻璃棒快速的將水滴抹均勻。
 - (5) 讓物體與砂紙的夾角呈 45 度。
 - (6) 將提起物體的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
 - (7) 將彈簧秤勾住鉤環。
 - (8) 用彈簧秤拉動物體並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖(三角板)



實驗裝置圖(玻璃板)

(四)實驗四：

1. 實驗目的：
研究在乾燥或潮濕時鞋底對於各種路面的摩擦力大小——面狀。
2. 實驗器材：
鞋(已加入 150g 砝碼)、彈簧秤、噴霧器、路面(就地取材)。
3. 實驗步驟——乾燥：
 - (1) 將鞋放置於各種乾燥路面上。
 - (2) 將彈簧秤勾住鞋子的一端。
 - (3) 拉動並測出最大靜摩擦力。
4. 實驗步驟——潮濕：
 - (1) 將放置於各種潮濕路面上(按壓噴霧器 20 次)。
 - (2) 將彈簧秤勾住鞋子的一端。
 - (3) 拉動並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖

(五)實驗五：

1. 實驗目的：
探討潮濕程度對皮革(模擬皮膚)與紙鈔的摩擦力大小——面狀。
2. 實驗器材：
皮革(已加入 150g 砝碼)、彈簧秤、紙鈔(一百元紙鈔)、噴霧器。
3. 實驗步驟——乾燥：
 - (1) 將皮革與砝碼於紙鈔上對齊(貼齊反面左緣並在 100 字樣的底端)。
 - (2) 將彈簧秤勾住皮革的一端。
 - (3) 拉動並測出最大靜摩擦力。
4. 實驗步驟——潮濕：
 - (1) 將加水後的皮革(依序按壓噴霧器 1~3 次)與砝碼於紙鈔上對齊。
 - (2) 將彈簧秤勾住皮革的一端。
 - (3) 拉動並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖



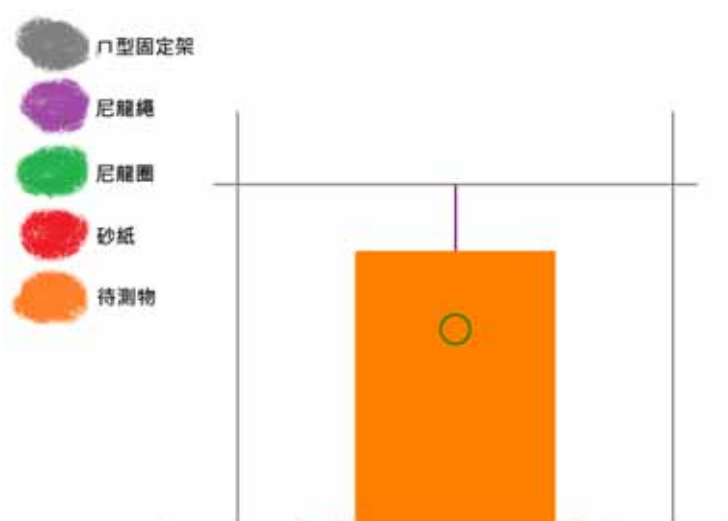
對齊方法



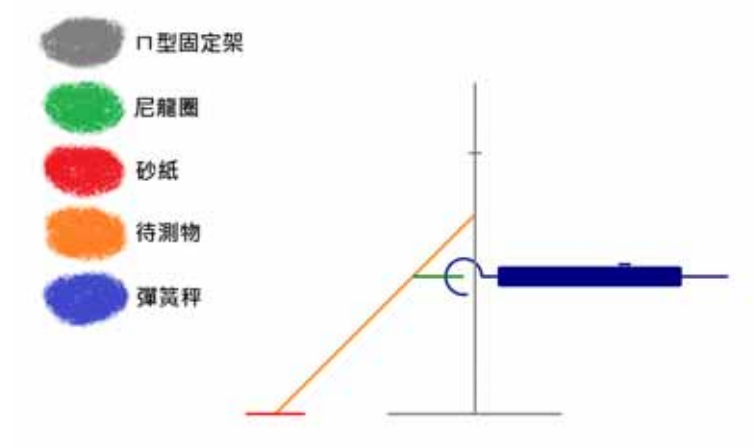
噴水方法→

(六) 實驗裝置圖

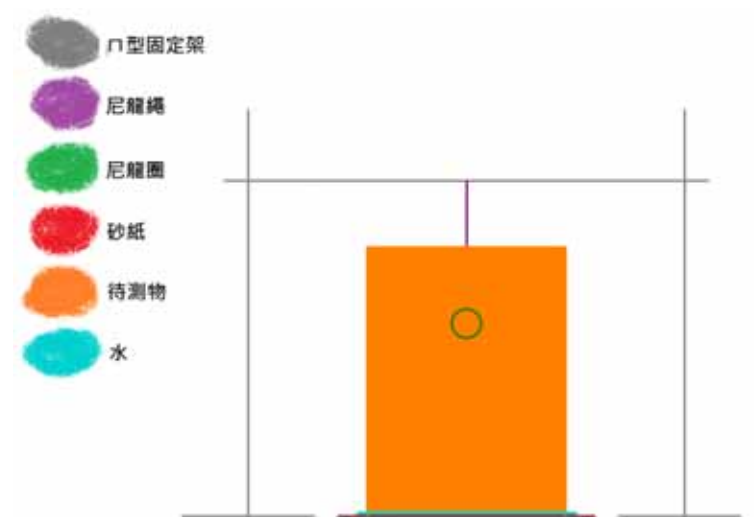
1. 實驗一、實驗二(加水前)、實驗三(加水前)裝置正面圖



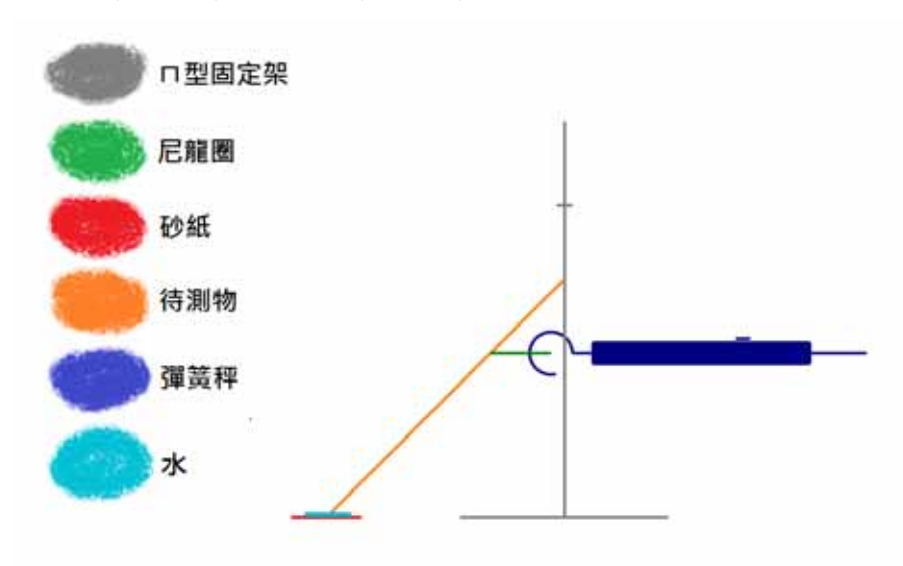
2. 實驗一、實驗二(加水前)、實驗三(加水前)裝置側面圖



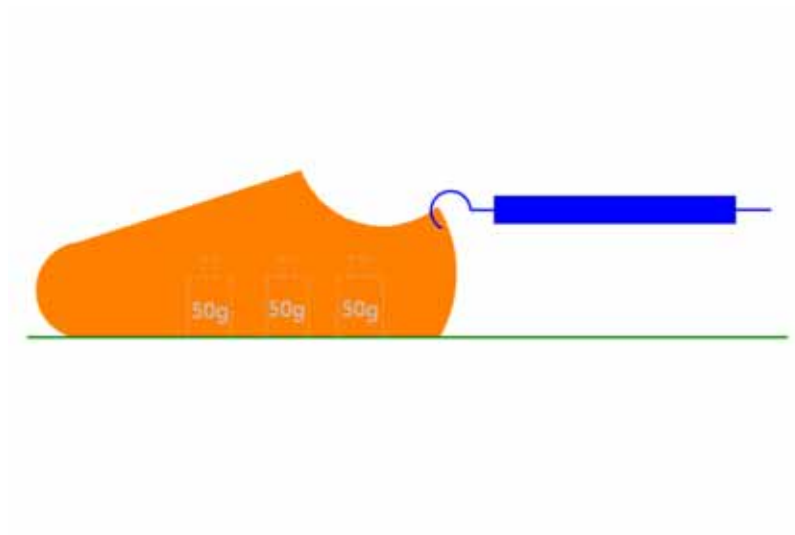
3. 實驗二(加水後)、實驗三(加水後)裝置正面圖



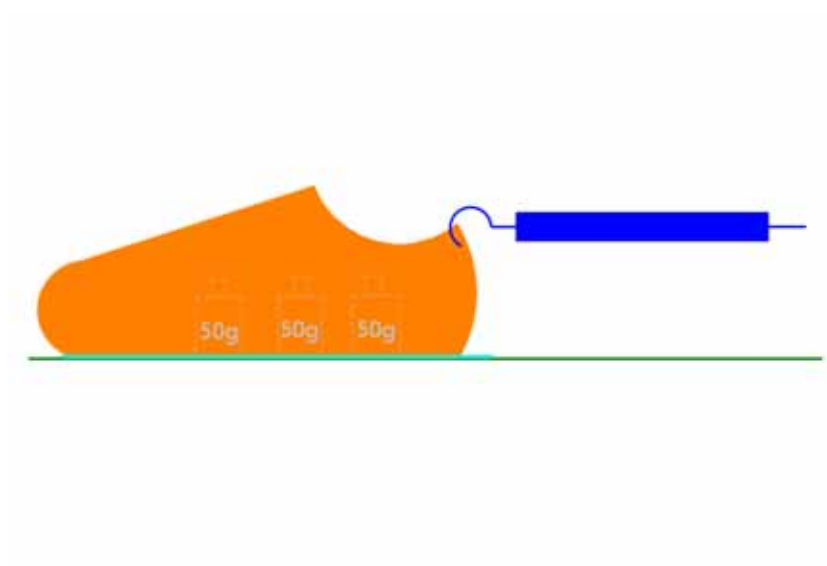
4. 實驗二(加水後)、實驗三(加水後)裝置側面圖



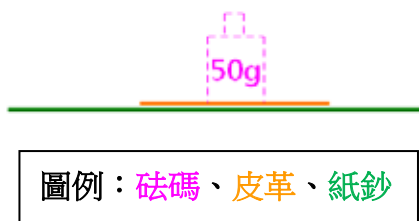
5. 實驗四(加水前)側面裝置圖



6. 實驗四(加水後)側面裝置圖



7. 實驗五(加水前)正面裝置圖



8. 實驗五(加水前)側面裝置圖



圖例：砝碼、皮革、紙鈔、彈簧秤

9. 實驗五(加水後)正面裝置圖



圖例：砝碼、皮革、紙鈔、水

10. 實驗五(加水後)側面裝置圖



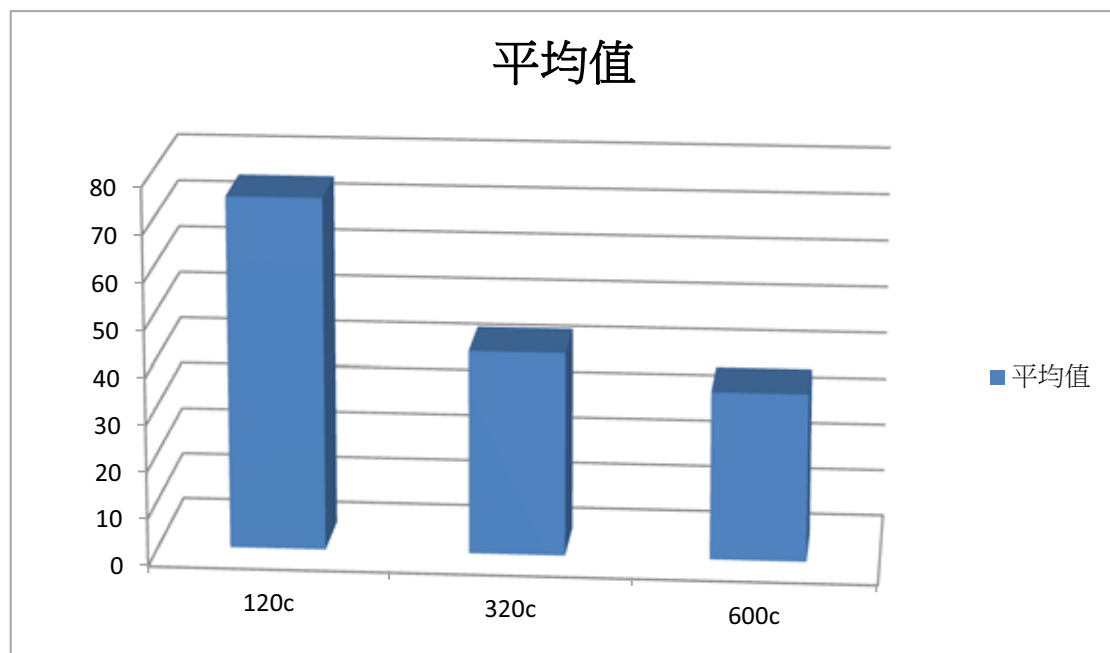
圖例：砝碼、皮革、紙鈔、水、彈簧秤

伍、研究結果

一、實驗一：以刮刀(已加入 270g 砝碼)為例，探討砂紙號碼與顆粒大小的關係

單位：公克重(gw)

刮刀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c	65.0	70.0	75.0	85.0	80.0	75.0	75.0
320c	40.0	45.0	45.0	45.0	45.0	40.0	43.33
600c	35.0	35.0	35.0	35.0	40.0	35.0	35.83

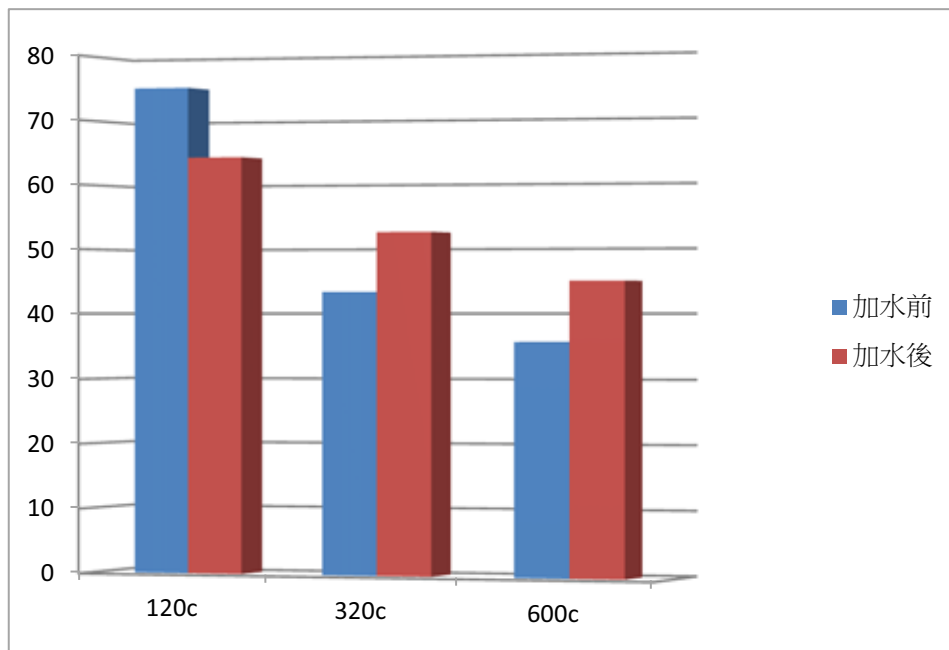


砂紙型號號碼愈大(600c)，用手觸摸砂只感覺起來顆粒較細，實驗後發現拉動刮刀時所需的最大靜摩擦力也較小；號碼較小的砂紙(120c)拉動所需的摩擦力較其他兩種砂紙大得多。

二、實驗二：探究刀具與砂紙加水前後摩擦結果——線形

(單位：公克重)

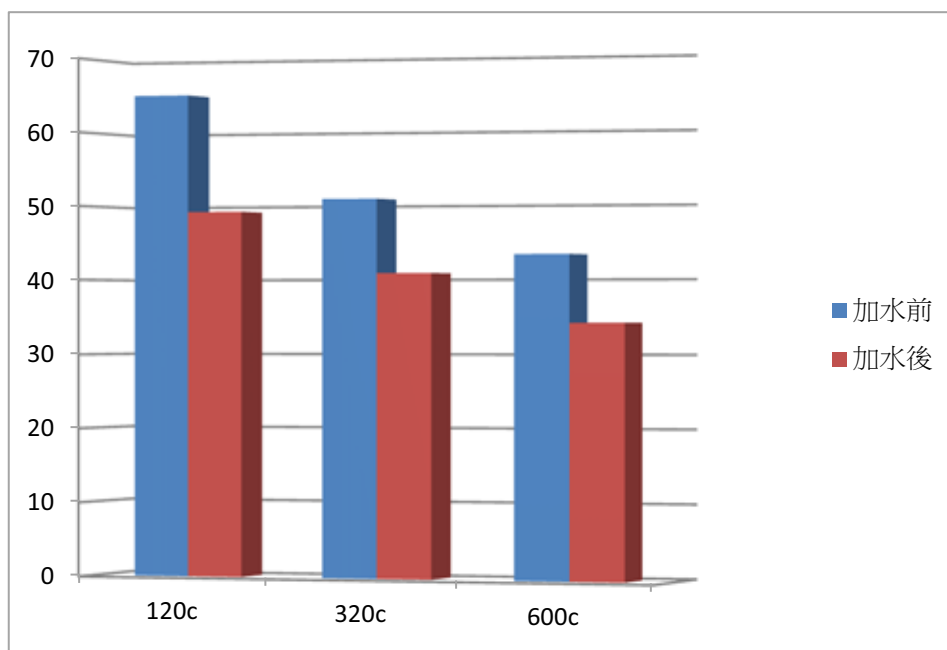
刮刀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	65.0	70.0	75.0	85.0	80.0	75.0	75.0
加水後	70.0	60.0	65.0	65.0	60.0	65.0	64.17
320c							
加水前	40.0	45.0	45.0	45.0	45.0	40.0	43.33
加水後	50.0	50.0	60.0	55.0	50.0	50.0	52.50
600c							
加水前	35.0	35.0	35.0	35.0	40.0	35.0	35.83
加水後	40.0	50.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.00



刮刀在加水後拉動所需的最大靜摩擦力在 120c 時減少了一些，但是在 320c 及 600c 砂紙皆呈現增加的現象。

(單位：公克重)

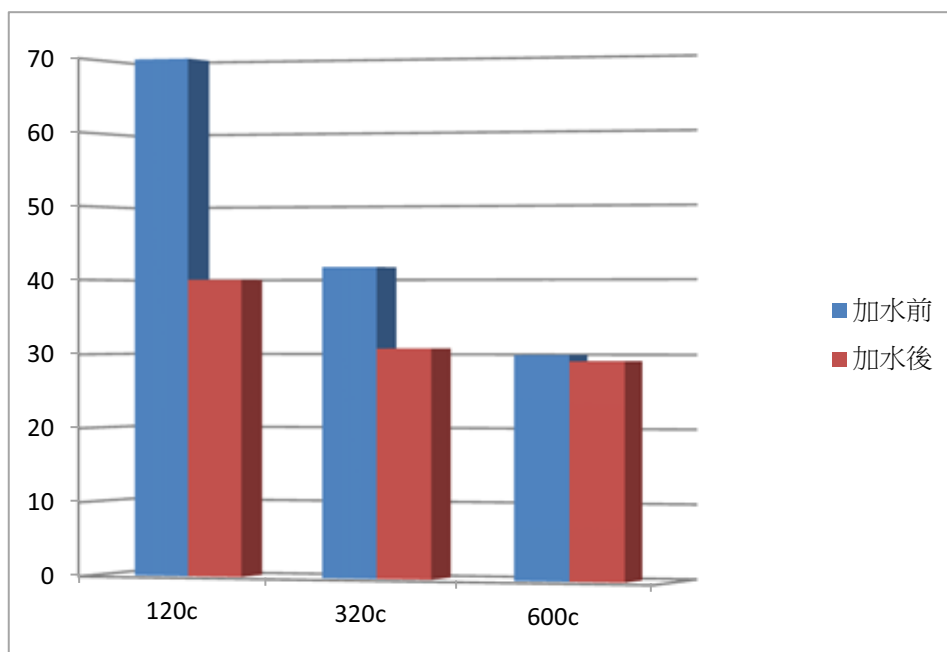
水果刀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	60.0	70.0	65.0	60.0	60.0	75.0	65.0
加水後	55.0	45.0	45.0	50.0	45.0	45.0	49.17
320c							
加水前	55.0	50.0	50.0	50.0	55.0	45.0	50.83
加水後	45.0	40.0	40.0	35.0	45.0	40.0	40.83
600c							
加水前	45.0	40.0	40.0	50.0	45.0	40.0	43.33
加水後	30.0	30.0	35.0	40.0	40.0	30.0	34.17



加了水後，拉動水果刀所需的最大靜摩擦力皆為減少；而由長條圖發現，水果刀在加水前與加水後摩擦力的減少幅度漸漸縮小。

(單位：公克重)

菜刀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	70.0	70.0	75.0	70.0	65.0	70.0	70.0
加水後	45.0	40.0	40.0	40.0	40.0	35.0	40.00
320c							
加水前	35.0	40.0	45.0	40.0	50.0	45.0	41.66
加水後	30.0	35.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.83
600c							
加水前	35.0	30.0	30.0	35.0	25.0	25.0	30.0
加水後	25.0	30.0	30.0	30.0	25.0	25.0	29.17

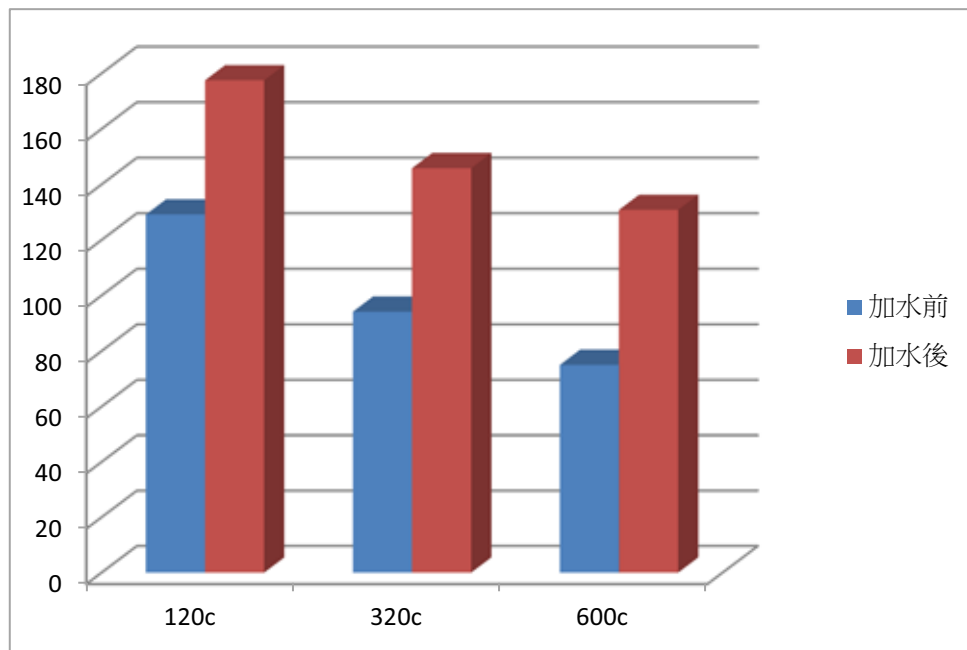


與水果刀類似，加水後摩擦力減少了許多，減少的幅度也隨著砂紙型號不同愈來愈小。其中較特別的是在使用 600c 砂紙時，加水後減少的幅度微乎其微。

三、實驗三：測試不同材質平板與砂紙加水前候的摩擦結果——線形

(單位：公克重)

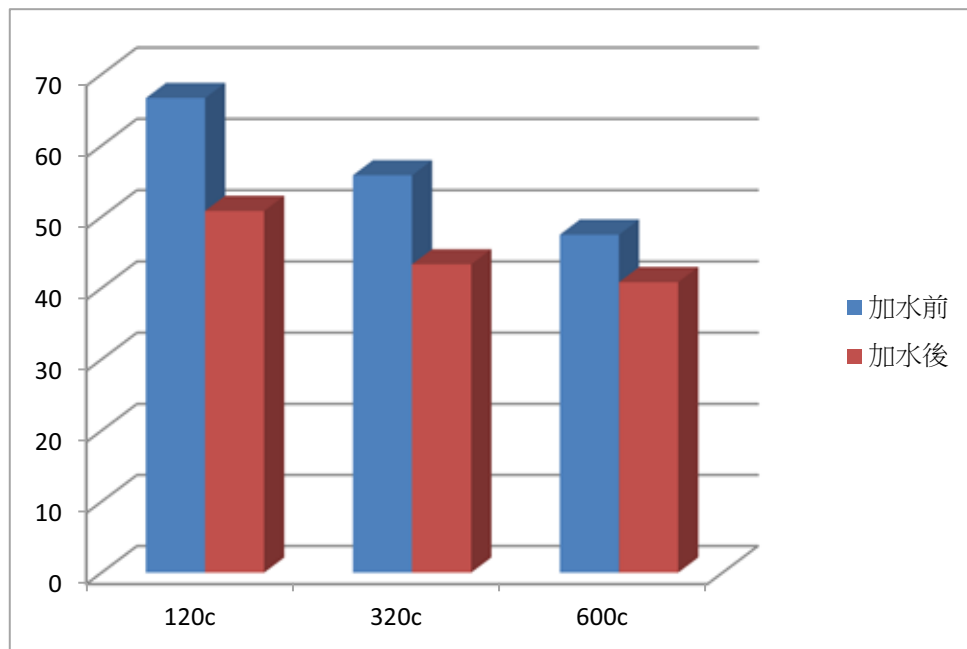
玻璃板	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	125.0	130.0	125.0	125.0	135.0	135.0	129.16
加水後	185.0	180.0	170.0	175.0	185.0	170.0	177.50
320c							
加水前	95.0	90.0	95.0	95.0	95.0	95.0	94.16
加水後	150.0	145.0	140.0	150.0	145.0	145.0	145.83
600c							
加水前	75.0	70.0	75.0	75.0	80.0	75.0	75.00
加水後	130.0	125.0	135.0	130.0	130.0	135.0	130.83



玻璃板在加水後摩擦力非常明顯的上升，差距約為 50gw，從 120c 至 600c 砂紙摩擦力上升的幅度有略為的增加。

(單位：公克重)

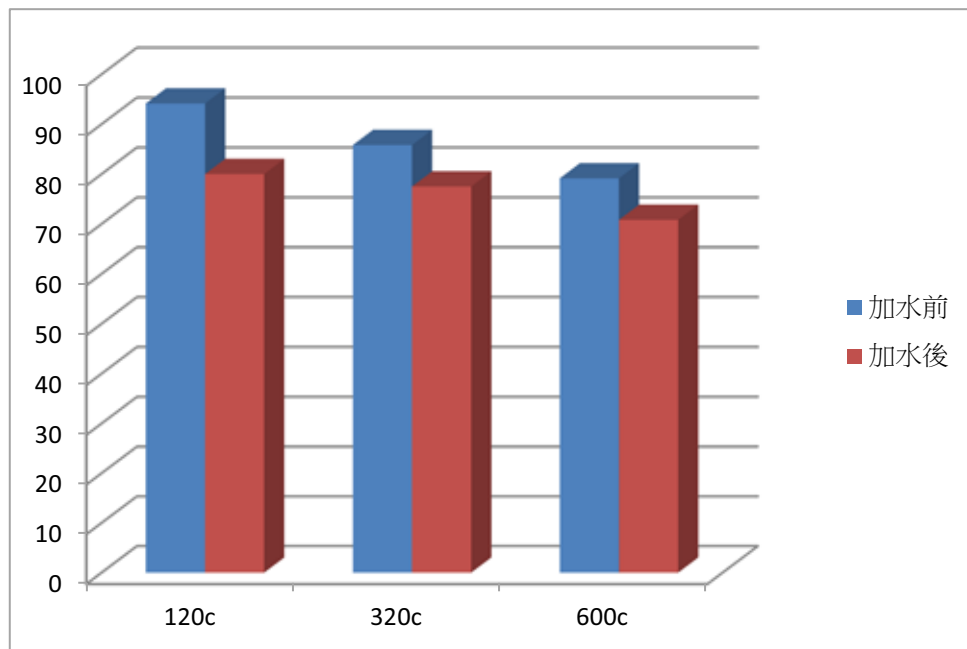
三角板	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	60.0	65.0	70.0	70.0	70.0	65.0	66.66
加水後	50.0	50.0	50.0	50.0	55.0	50.0	50.83
320c							
加水前	55.0	55.0	60.0	55.0	50.0	55.0	55.83
加水後	40.0	40.0	45.0	45.0	45.0	45.0	43.33
600c							
加水前	45.0	50.0	50.0	45.0	45.0	50.0	47.50
加水後	40.0	40.0	40.0	40.0	45.0	40.0	40.83



三角板在加水後最大靜摩擦力皆為減少。

(單位：公克重)

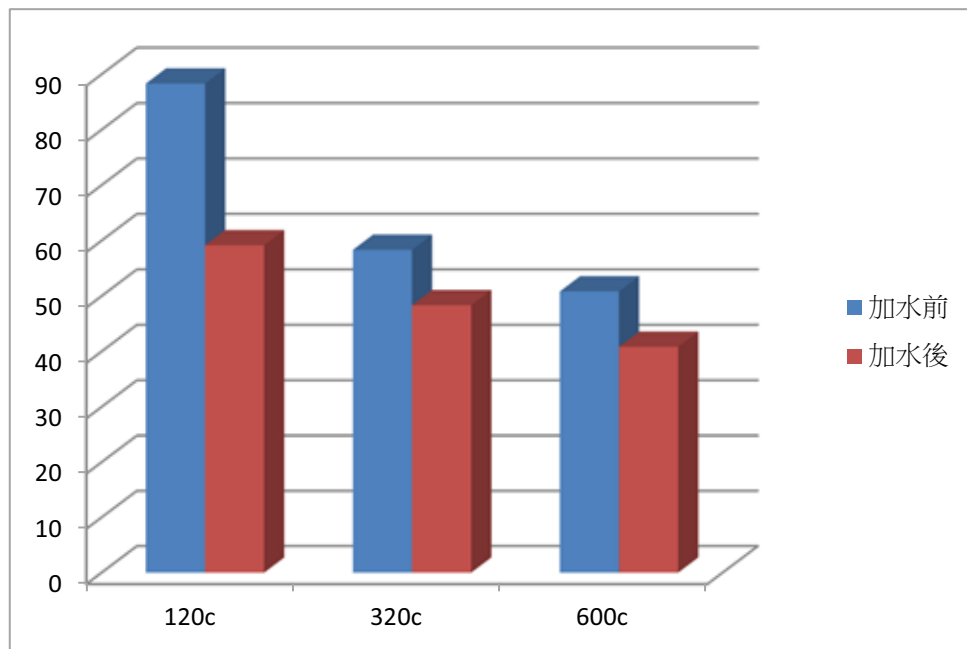
CD 殼	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	95.0	95.0	95.0	90.0	95.0	95.0	94.16
加水後	85.0	80.0	80.0	80.0	80.0	75.0	80.00
320c							
加水前	85.0	85.0	85.0	90.0	80.0	90.0	85.83
加水後	80.0	80.0	75.0	80.0	75.0	75.0	77.50
600c							
加水前	85.0	75.0	75.0	75.0	80.0	80.0	79.16
加水後	65.0	70.0	75.0	75.0	70.0	70.0	70.83



CD 殼在加水後拉動所需的力量皆減少了一些。

(單位：公克重)

鐵片	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
120c							
加水前	90.0	90.0	90.0	90.0	85.0	85.0	88.33
加水後	65.0	55.0	65.0	55.0	60.0	55.0	59.16
320c							
加水前	60.0	55.0	55.0	65.0	55.0	55.0	58.33
加水後	50.0	45.0	50.0	50.0	45.0	50.0	48.33
600c							
加水前	50.0	50.0	55.0	55.0	50.0	45.0	50.83
加水後	30.0	35.0	30.0	35.0	35.0	30.0	32.50

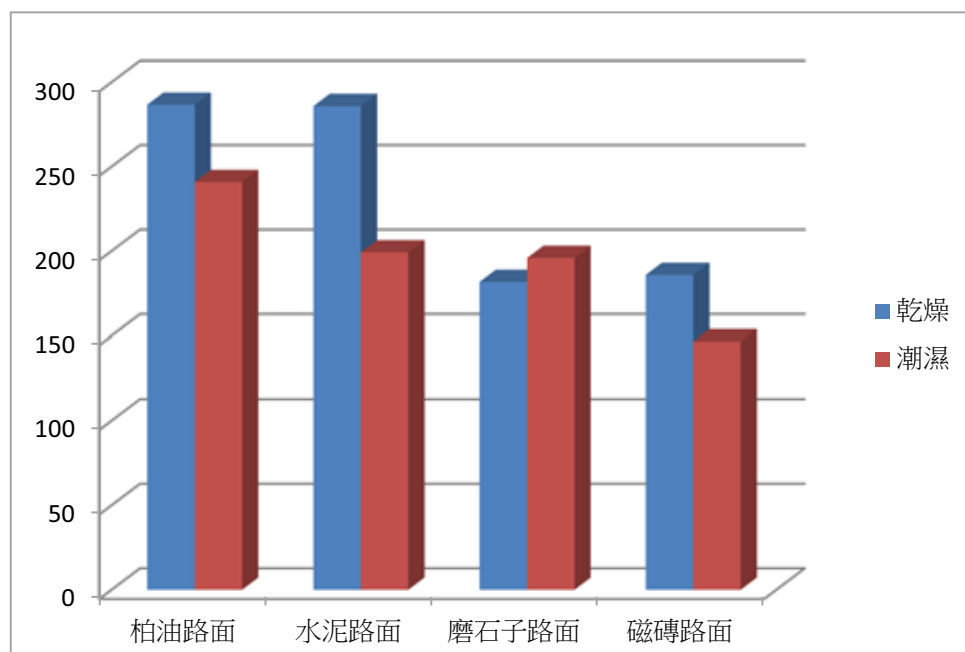


鐵片在 120c 砂紙上加水後摩擦力明顯的減少了，而其他兩種砂紙也是下降的。

四、實驗四：在乾燥或潮濕時鞋底對於各種路面的摩擦係數——面狀

(單位：公克重)

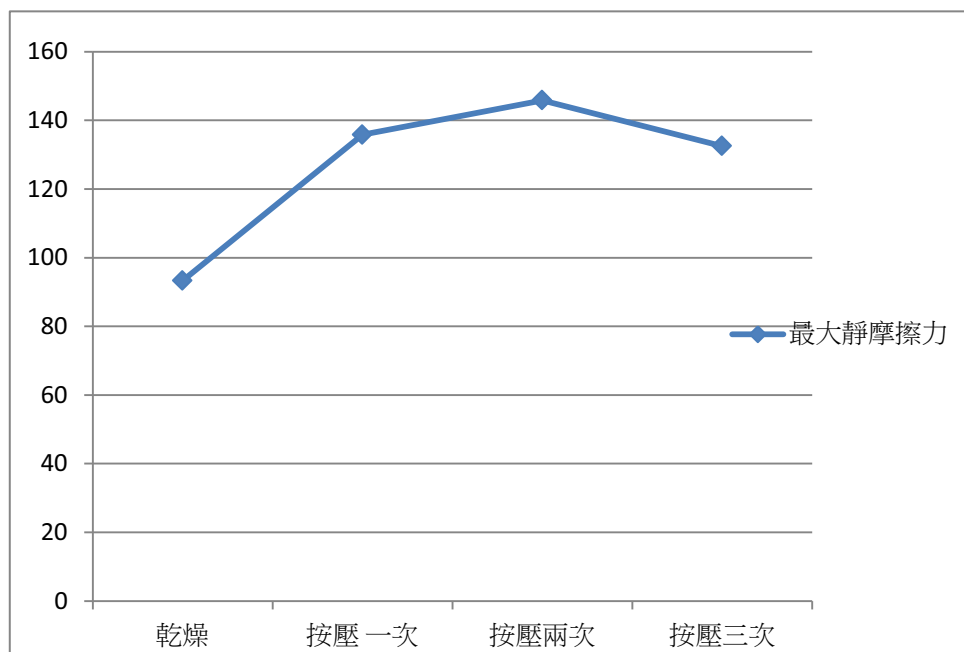
鞋子	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
柏油路面							
乾燥	290.0	290.0	290.0	280.0	290.0	280.0	286.67
潮濕	240.0	230.0	250.0	240.0	240.0	245.0	240.83
水泥路面							
乾燥	290.0	280.0	285.0	285.0	285.0	290.0	285.83
潮濕	210.0	190.0	190.0	210.0	210.0	185.0	199.17
磨石子路面							
乾燥	175.0	180.0	180.0	185.0	190.0	180.0	181.67
潮濕	190.0	195.0	195.0	200.0	195.0	200.0	195.83
磁磚路面							
乾燥	180.0	185.0	190.0	180.0	190.0	190.0	185.83
潮濕	160.0	140.0	150.0	140.0	140.0	150.0	146.67



鞋底對於柏油、水泥及磁磚在加水後的最大靜摩擦係數皆比加水前減少，只有磨石子地面在加水後會增加摩擦係數。

五、實驗五：探討潮濕程度對皮革(模擬皮膚)與紙鈔的摩擦力大小——面狀
(單位：公克重)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
乾燥	95.0	95.0	95.0	90.0	90.0	95.0	93.33
按壓一次	140.0	145.0	130.0	135.0	135.0	130.0	135.83
按壓兩次	150.0	140.0	150.0	145.0	145.0	145.0	145.83
按壓三次	140.0	130.0	135.0	130.0	130.0	130.0	132.50



在皮革與鈔票之間加水，摩擦力會先升後降，在按壓兩次時達到最高點。

陸、討論

一、實驗一

- (一) 用手指觸摸後發現，砂紙型號數字愈大愈細緻
- (二) 物體對於號碼數字較小的砂紙摩擦力較大，反之對於號碼比較大的砂紙摩擦力較小。

二、實驗二

- (一) 各種刀子中只有刮刀在加水後測量摩擦力有出現增加。
- (二) 我們觀察發現這幾種刀子中只有刮刀為直線型接觸面，其他的接觸面有弧度，只有一小段的接觸面，而砂紙的顆粒大表面有突起也有凹槽，每次的接觸面無法平均，摩擦力沒有上升。

三、實驗三

- (一) 各種材質中只有光滑的玻璃板的摩擦力在加水後增加。
- (二) 觀察後發現三角板在實驗過程中磨損，鐵片已生鏽，而 CD 殼側面有平行紋路，所以並非光滑接觸面。

四、實驗四

- (一) 實驗中的四種地面只有磨石子是光滑的，其他的水泥地、柏油路與磁磚(有紋路)為粗糙地面。
- (二) 只有在光滑的磨石子地板加水後鞋子的最大靜摩擦力會增加。

五、實驗五

- (一) 無法取得真人手指做實驗，所以改用類似人體皮膚的皮革代替。
- (二) 結果顯示摩擦力的增加在按壓 2 次時最大。
- (三) 觀察也發現噴 2 次時的水量與數鈔票時將手指沾溼的水量大致相同。

依據實驗一至實驗三的研究結果，我們並沒有找到水在線性接觸面是增加最大靜摩擦力，還是減少最大靜摩擦力的規律答案。

依據實驗四至實驗五的研究結果，我們也沒有找到水在面性接觸面是增加最大靜摩擦力，還是減少最大靜摩擦力的規律答案。倒是我們在實驗五中，發現最大靜摩擦力在水量多寡上有著先增加而後減少的趨勢線，我們延伸做線狀及面狀接觸面在改變水量多寡下的影響。

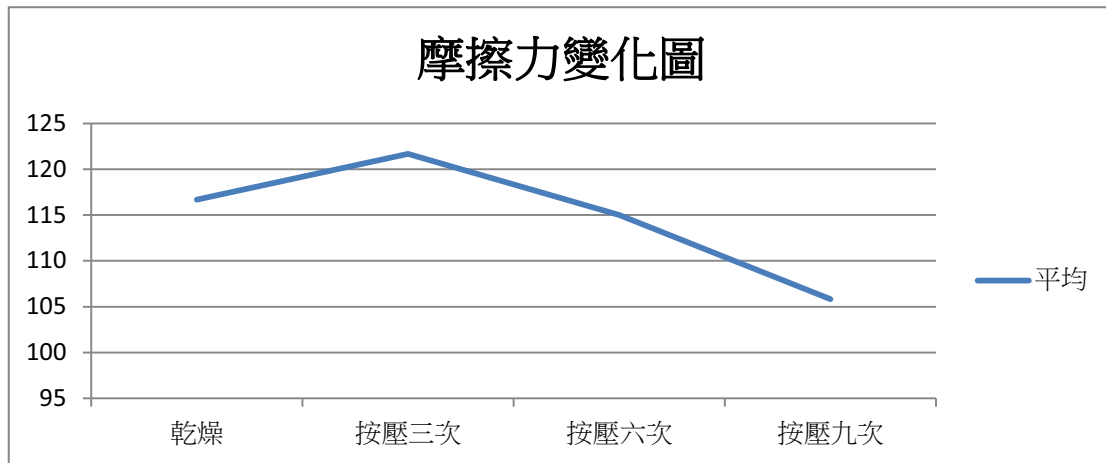
六、延伸實驗 A——水量多寡

- (一) 實驗二中刮刀有出現減少(120c)和增加(320c、600c)的情形，我們覺得刮刀十分特別，於是以刮刀作為延伸實驗的題材。
- (二) 以 120 號的砂紙進行實驗延伸——線形接觸面。
 - 1. 實驗器材：
120 號砂紙、刮刀、彈簧秤、膠帶、尼龍線、砝碼、噴霧器、固定架。
 - 2. 實驗步驟：
 - (1) 依照實驗一的方法完成乾燥部分的實驗。
 - (2) 架設 U 形固定架。
 - (3) 在刮刀上固定尼龍繩及鉤環。
 - (4) 於固定高度以噴霧器(依序以 3 為單位按壓)製造潮濕砂紙。
 - (5) 讓刮刀與砂紙的夾角呈 45 度。
 - (6) 將提起物體的尼龍線另一端綁在固定架上，並垂直於砂紙。
 - (7) 將彈簧秤勾住鉤環。
 - (8) 用彈簧秤拉動物體並測出最大靜摩擦力。

3. 實驗結果：

單位：公克重

刮刀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
乾燥	115.0	120.0	120.0	115.0	115.0	115.0	116.67
按壓 3 次	125.0	120.0	125.0	120.0	115.0	125.0	121.67
按壓 6 次	120.0	115.0	110.0	120.0	115.0	110.0	115.00
按壓 9 次	120.0	95.0	95.0	125.0	100.0	100.0	105.83



(三) 探討完了線形，我們也想進一步了解面形接觸面的情況是否會有相同的結果。

(四) 以 120 號的砂紙進行實驗延伸——面形接觸面。

1. 實驗器材：

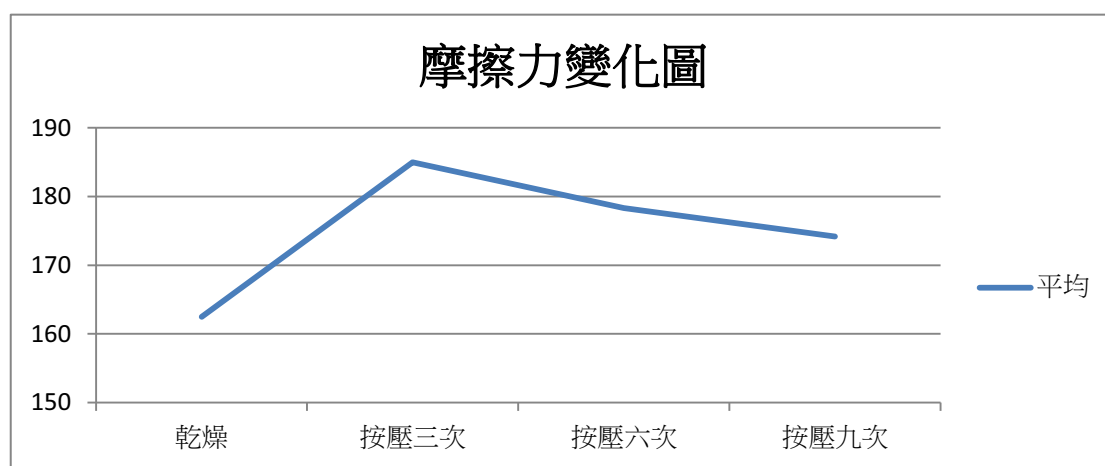
120 號砂紙、CD 盒、彈簧秤、砝碼、噴霧器、橡皮筋。

2. 實驗步驟：

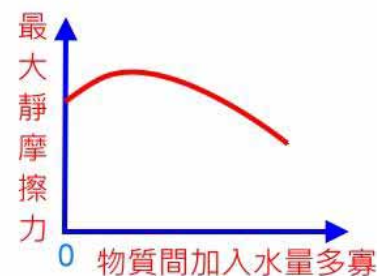
- (1) 將 CD 盒以 150g 砝碼加重。
- (2) 套上橡皮筋。
- (3) 用彈簧秤勾住橡皮筋。
- (4) 於固定高度以噴霧器(依序以 3 為單位按壓)製造潮濕砂紙。
- (5) 拉動並測出最大靜摩擦力。

(單位：公克重)

CD 盒	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均
乾燥	165.0	160.0	160.0	160.0	165.0	165.0	162.50
按壓 3 次	185.0	185.0	190.0	185.0	180.0	185.0	185.00
按壓 6 次	185.0	175.0	170.0	180.0	180.0	180.0	178.33
按壓 9 次	170.0	170.0	170.0	185.0	180.0	170.0	174.17



綜合實驗一至實驗五的討論，再加上延伸實驗 A 的結果，我們發現兩物質間最大靜摩擦力在加水前後並非統一的變大或變小，發現光滑的接觸面與粗糙的接觸面在實驗的結果上不相同。我們也發現水量的多寡也會影響物質間最大靜摩擦力的結果，如右圖，我們推論物質間剛加一點點水時，最大靜摩擦力都會增加，爾後通過最高點後再依序減少，而且持續加水後，物質間最大靜摩擦力會逐漸減小。



七、延伸實驗 B——驗證少量水會增加最大靜摩擦力，多量水會減少最大靜摩擦力

(一) 以 100c 砂紙上下互相摩擦，並逐漸加水，測量兩砂紙之間最大靜摩擦力

1. 先使用 100c 的砂紙互相摩擦，拉動測出最大靜摩擦力

(1) 實驗器材：

砂紙(100c)、彈簧秤、噴霧器、膠帶、尼龍線、砝碼。

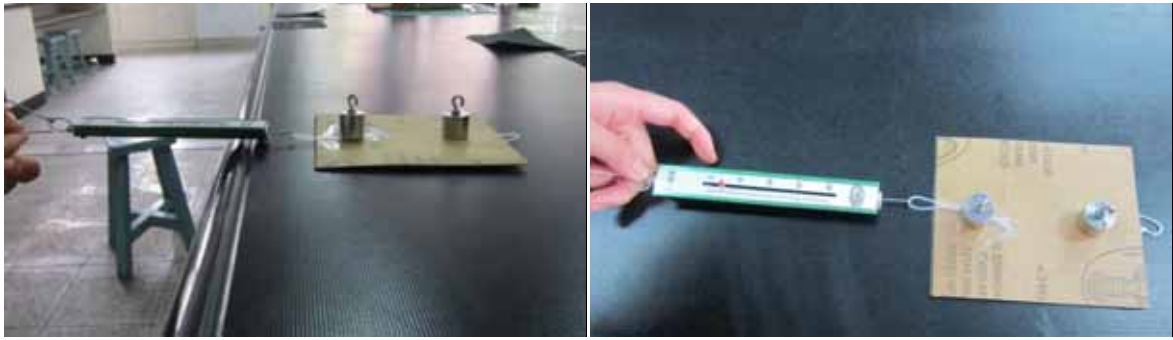
(2) 實驗步驟——加水前

甲、裁切兩張面積相同的砂紙。

乙、在砂紙背面黏上尼龍線製作的鉤環。

丙、將兩張砂紙面對面貼合平放於桌面並加上 50g 的砝碼兩個。

丁、用彈簧秤拉動砂紙上的鉤環並測出最大靜摩擦力。



實驗裝置圖(測量兩張砂紙間最大靜摩擦力)

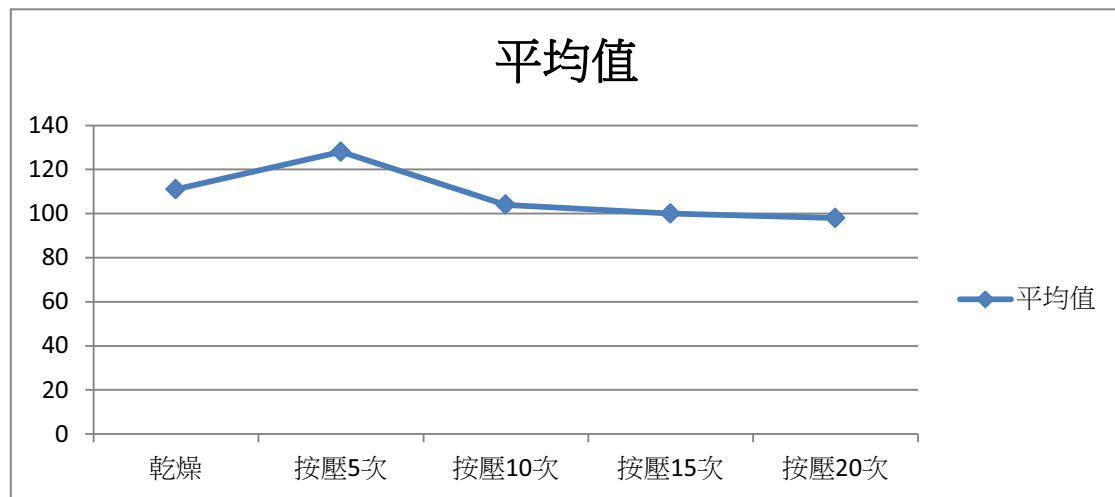
(3) 實驗步驟——加水

甲、按壓噴霧器(依序按壓 5、10、15、20 次)於裁切後的砂紙。

乙、用與加水前相同方法拉動測出最大靜摩擦力。

(4) 實驗結果：

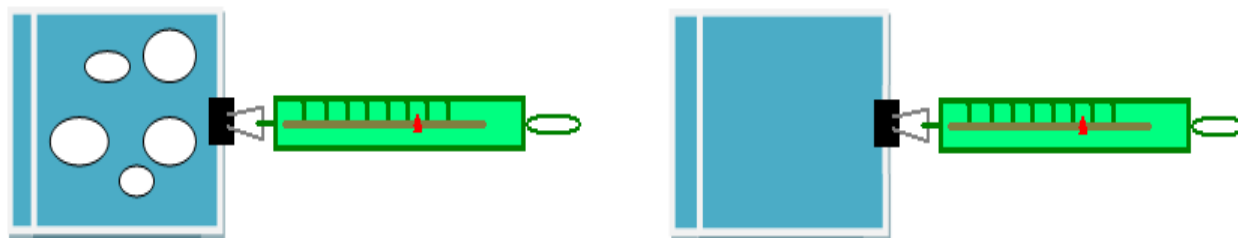
100/100 + (50 × 2)g						
公克重(gw)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
乾燥	110.0	115.0	110.0	115.0	105.0	111.00
按壓 5 次	135.0	130.0	120.0	120.0	135.0	128.00
按壓 10 次	105.0	95.0	105.0	100.0	115.0	104.00
按壓 15 次	100.0	100.0	95.0	110.0	95.0	100.00
按壓 20 次	90.0	95.0	105.0	90.0	110.0	98.00



經過延伸實驗 B，我們驗證推論是正確的：少量水會增加最大靜摩擦力，多量水會減少最大靜摩擦力。

但依據實驗一到延伸實驗的實驗結果顯示，多少水量會達到最大靜摩擦力的最大值，並沒有一定的數值，這與摩擦的材質、下壓重量的大小有關。

那是什麼因素導致當兩介質中加入少許水時，最大摩擦力違反減少的趨勢，反而是增加的呢？是大氣壓力的影響？還是水與介質之附著力與水之間內聚力的差異？



兩玻璃板間加水同時存在氣泡		兩玻璃板間加水並刻意沒有氣泡	
乾燥	平均 45.3gw	乾燥	平均 45.3gw
按壓 1 次	平均 5.2gw	按壓 1 次	超過彈簧秤極值 200gw
按壓 2 次	平均 1.3gw	按壓 2 次	超過彈簧秤極值 200gw
結果：加水後比乾燥時的最大靜摩擦力下降，當介質間存在氣泡時，大氣壓力不影響實驗結果。		結果：加水後比乾燥時的最大靜摩擦力增加許多，證實大氣壓力會影響實驗結果極劇。	

我們推論在硬材質的兩接觸面中，在面接觸中必須注意接觸面是否有氣泡，實驗發現兩片玻璃當沒有氣泡時，最大靜摩擦力會增加非常大，大到 200 公克重以上，超過實驗用彈簧秤極值，大大影響我們測量水量多寡是否影響最大靜摩擦力。

但在砂紙磨擦的實驗中，並非如同玻璃間是將空氣完全排出，我們推論是水與介質間附著力大於水的內聚力，就如同毛細現象水在試管中水面呈現凹狀(如右圖)。



八、延伸實驗 C——利用奈米噴霧驗證推論



奈米防潑水噴霧

水珠在噴有奈米防潑水噴霧的砂紙上

水珠在一般砂紙上

- 接著使用 100c 已噴上奈米噴霧的砂紙互相摩擦，測出最大靜摩擦力
- (1) 實驗器材：
砂紙(100c)、彈簧秤、噴霧器、膠帶、尼龍線、奈米噴霧、砝碼。

(2) 實驗步驟——加水前

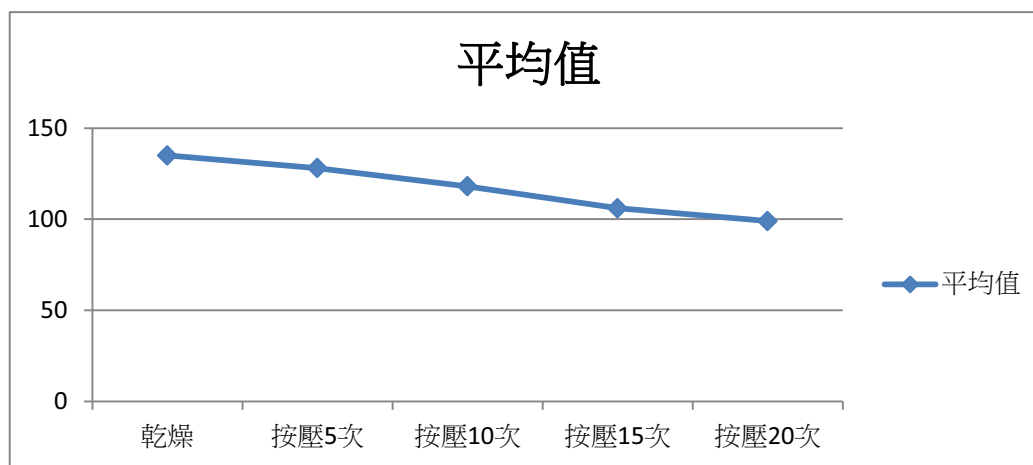
- 甲、裁切兩張面積相同的砂紙。
- 乙、在砂紙背面黏上尼龍線製作的鉤環。
- 丙、在正面噴上奈米噴霧加工並置於陰涼處風乾。
- 丁、將兩張砂紙面對面貼合平放於桌面並加上 50g 的砝碼兩個。
- 戊、用彈簧秤拉動砂紙上的鉤環並測出最大靜摩擦力。

(3) 實驗步驟——加水

- 甲、按壓噴霧器(依序按壓 5、10、15、20 次)於加工後的砂紙。
- 乙、用與加水前相同方法拉動測出最大靜摩擦力。

實驗結果

奈米噴霧 100/100 + 50 g						
公克重(gw)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
乾燥(有奈米)	135.0	130.0	140.0	135.0	135.0	135.00
按壓 5 次	120.0	120.0	140.0	120.0	140.0	128.00
按壓 10 次	110.0	135.0	120.0	125.0	100.0	118.00
按壓 15 次	100.0	120.0	110.0	110.0	90.0	106.00
按壓 20 次	105.0	85.0	90.0	105.0	110.0	99.00



九、延伸實驗討論

(一) 延伸實驗 A、B——探討水量多寡對線狀接觸面及面狀接觸面的影響

觀察發現線形與面狀接觸面的結果大致相同，物質間剛加一點點水時，最大靜摩擦力都會增加，爾後通過最高點後再依序減少，而且持續加水後，物質間最大靜摩擦力會逐漸減小。

(二) 延伸實驗 C——以奈米噴霧解釋實驗現象

加水的砂紙磨擦(圖二)，水與砂紙之接觸存在著很大的附著力，此附著力會使得剛加入一些水時增加摩擦的最大靜摩擦力。而已經噴了奈米噴霧的砂紙，小水珠會

在表面上產生蓮花效應，大量減少水與接觸面的附著力，因此在最大靜摩擦力的測量，我們發現水量越多，砂紙間最大靜摩擦力越小。



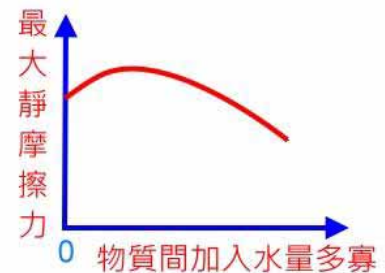
(圖一) 砂紙乾燥摩擦狀況



(圖二) 砂紙加水後摩擦狀況，水的附著力影響最大靜摩擦力數值

柒、結論

- 一、砂紙型號數字愈大，顆粒愈細緻，在相同的正向力作用下，介質間最大摩擦力也較小。
- 二、綜合實驗一至實驗五的討論，我們發現兩物質間最大靜摩擦力在加水前後並非統一的變大或變小，而是物質間剛加一點點水時，最大靜摩擦力都會增加，爾後通過最高點後再依序減少，而且持續加水後，物質間最大靜摩擦力會逐漸減小。
- 三、我們利用奈米防潑水噴霧的砂紙，使水珠在砂紙上產生蓮花效應，證實物質間最大靜摩擦力在加水後先增後減的變化是水與介質間附著力大於水的內聚力所造成的。



捌、參考資料及其他

國立臺灣師範大學物理系

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=Notes/friction>

物理教學小棧 <http://home.phy.ntnu.edu.tw/~eureka/index.htm>

摩擦力與運動 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/friction/index.html>

摩擦力的實驗 <https://sites.google.com/site/frankb1233967/shi-yan>

摩擦力的應用 <http://home.phy.ntnu.edu.tw/~eureka/contents/elementary/chap%202/2-4-3.htm>

格物致知——摩擦力

<http://memo.cgu.edu.tw/yun-ju/cguweb/sciknow/phystory/Friction/Friction00.htm>

國中物理生活化實驗設計學習模組--- 摩擦力

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=modules/%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B/%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B>

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會物理科它抓得住我？—紋路對摩擦力的影響

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081519.pdf>

觀念物理 I-休斯特著，常雲惠譯。2001。

南一版自然與生活科技(二下)。2011。

【評語】 030111

1. 本作品藉由日常生活觀測到的現象再進一步的在實驗室中探討水對摩擦力的影響，顯示作者有很好的觀察力，唯在實驗的完整性上仍有部分加強空間。