

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第三名

080112

改善疊椅卡住之研究

學校名稱：國立嘉義大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小五 賴奕瑾	翁秀玉
小四 姜品丞	陳威廷
小四 柯羽玲	
小五 楊喆煊	
小四 柯兆鴻	
小四 林泳舟	

關鍵詞：摩擦力、疊椅

摘要

塑膠椅疊在一起椅腳間有摩擦力，當拉力小於最大靜摩擦力+椅重就拔不開，因此本研究主要探討椅腳加裝魔鬼氈、市售和自製半圓珠對於疊椅拉力的影響。先以魔鬼氈與市售半圓珠做實驗，發現市售半圓珠降低拉力效果比魔鬼氈好，且半圓珠越厚越多，則降低拉力越多。再來以三 D 列印製作不同厚度半圓珠做實驗，結果發現厚度 5.5~6.5mm 時，拉力從 5.27kg 降至 2kg 以內；厚度大於 7mm 以上時，拉力更降為 1.55kg 以內，幾乎不卡了，而且以黏貼在「中」位置(椅腳連接片)效果最好。綜合以上，建議厚度 7mm 以上黏貼在椅腳連接片位置即可達到不卡效果，更建議廠商直接在椅腳內部設計凸面，開模成一體成型的塑膠椅就能解決卡住問題。

壹、前言

一、研究動機

塑膠椅疊在一起常常會卡住，年紀大、小朋友、或不方便的人，他們的手較無力，拔椅子的過程可能會受傷，所以我們想要改良塑膠椅，達到方便使用及減少受傷的風險，因此我們利用魔鬼氈、市售半圓珠、3D 列印的自製珠來減少椅腳的摩擦力，並探討哪項物品能減少最多椅腳拉力。

二、研究目的

本研究探討塑膠椅相疊卡住的原因，並提出在椅腳加裝物品(魔鬼氈或半圓珠)用來改善疊椅的困擾，研究項目如下：

一、研究一、分析疊椅卡住的原因

二、研究二、椅腳加裝魔鬼氈的研究

實驗一：加裝魔鬼氈對不同椅子拉開疊椅拉力的影響

實驗二：加裝魔鬼氈寬度對白椅拉開疊椅拉力的影響

三、研究三、椅腳加裝市售半圓珠的研究

實驗一：市售半圓珠厚度對白椅拉開疊椅拉力的影響

實驗二：市售半圓珠厚度對椅腳殘留顏料的影響

四、研究四、椅腳加裝自製半圓珠的研究

實驗一：自製半圓珠厚度對減少疊椅拉力的影響

實驗二：自製半圓珠加裝在不同位置對減少疊椅拉力的影響

實驗三：加裝半圓珠在不同款式椅子對減少疊椅拉力的影響

三、文獻資料

(一)塑膠椅的結構

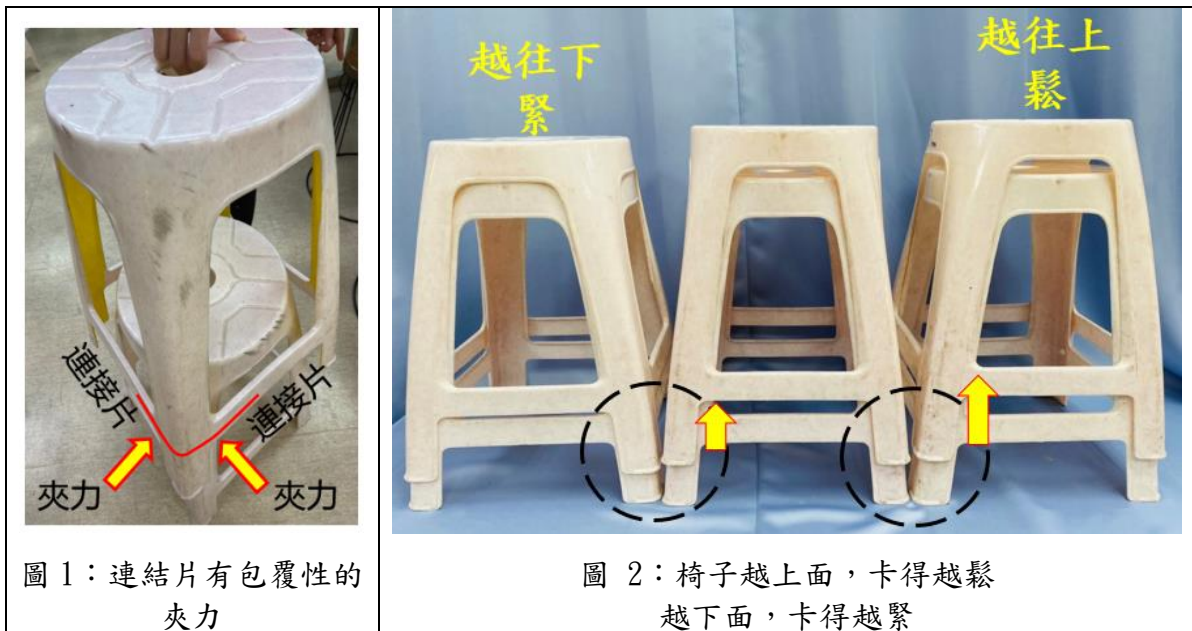
塑膠椅因為價格低，而且疊放方便而被大量使用。

1. 中間開洞

塑膠椅常堆疊方便儲運，如果不開洞，疊在一起的塑膠椅子可能會形成一個密閉的空間，氣壓差會導致很難快速拉開。

2. 上窄下寬梯形設計

椅子結構為上窄下寬梯形設計，椅腳之間在下方有「連接片」將 4 支腳固定框住(圖 1)，避免椅腳外擴鬆動。因為椅腳的斜度是固定的，當塑膠椅堆疊時，會往下卡住，形成一個夾力，越往下壓就卡得越緊(圖 2)，而且目前還沒有更好的解決辦法。



3. 相關專利

因為上面的椅子越往下壓，就會卡越緊，所以我們曾經嘗試用 3D 列印製作長條，希望卡在椅面的下方(圖 3)，發現長條易掉落，除非使用螺絲鎖住，但塑膠椅本身就很便宜，如果還要使用到螺絲，會增加過多成本，所以我們覺得這個方法不佳。

我們查詢專利，查到中國大陸有一件專利與我們想法相同，名稱是「一種疊不死式塑膠椅」(大陸新型專利 CN201542110U 圖 4)，它是在塑膠椅底部各邊各設一塊長條塊型墊塊，因為有墊塊就能把塑膠椅隔開，不會被相疊擠在一起的。



圖 3：三 D 列印製作長條

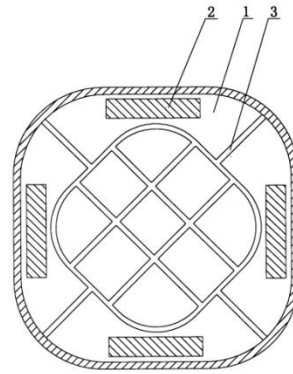


圖 4：中國大陸的專利圖

(二) 摩擦力與阻力

由於在自然界當中，並沒有任何一個物體的表面是完全光滑平整的，因此當兩接觸物體之間若有滑動時，會因為物體表面的不平整，產生與滑行方向相反的拉力，對滑過的另外一個物體產生互相卡住的效果，而這個阻擋物體移動的阻力，就是我們所熟知的摩擦力(圖 5)。

1. 兩接觸的物體受到拉力後，在還沒有開始滑動之前，物體之間的摩擦力稱為靜摩擦力。然而隨著拉力的逐漸增加，靜摩擦力也會隨著變大，直到兩物體滑動的瞬間，摩擦力將達到最大值，稱為最大靜摩擦力，本實驗過程所觀察記錄的摩擦力數值即為此力。
2. 兩物體在滑動之後，接觸面之間的阻力將比最大靜摩擦力而得小，稱為動摩擦力(圖 6)，此力的大小與正向力 (N) 和物體之間的摩擦係數 (μ) 有關，與接觸面積及滑動的速度無關聯。



圖 5：摩擦力

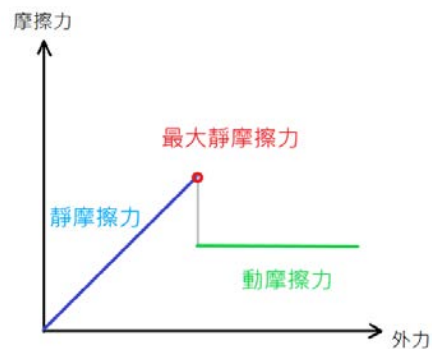


圖 6：靜摩擦力與動摩擦力

貳、研究設備及器材

塑膠椅、拉力計、15cm 鐵尺、魔鬼氈(2cm、5cm)、市售珠(不同厚度)、自製珠(不同厚度)、棒子、手機(慢動作拍攝影片)、黃色顏料。

參、研究過程、結果與討論

一、【拉開疊椅拉力的測量方法】

(一)實驗設計

1. 二張相同的塑膠椅，每次都上下間隔 15cm，以自由落體落下，形成二張椅子的疊椅，確保每次相疊卡住的程度是相同的(圖 7、圖 8)。
2. 上方椅子中間的洞固定一支棒子，用行李秤扣住棒子，確認歸零(圖 9、圖 10)。
3. 下方椅子由多位同學抓住椅腳使它固定不動，由一位組員雙手握住行李秤，往上慢慢出力，直到上方椅子被拉開，手機用慢動作錄影(圖 11)。
4. 觀看慢動作影片，得知拉力數據。重複共 5 次，再取平均(圖 12)。



圖 7：間隔 15cm



圖 8：自由落體落下→形成疊椅



圖 9：行李秤扣住棒子



圖 10：確認歸零



圖 11：往上慢慢出力



圖 12：慢動作影片得知拉力數據

二、研究一【分析疊椅卡住的原因】

我們想要瞭解疊椅在什麼部份卡住了，因此使用顏料，透過顏料分佈來分析。

(一)實驗步驟

1. 將黃色顏料塗抹在四個椅腳的內部。
2. 分別挑白椅（質量0.71kg）、藍椅（質量0.88kg）各2個，上下椅子固定間隔15cm，以自由落體落下，形成二張椅子的疊椅，白椅、藍椅疊起再拉開，重複共三次。
3. 觀察顏料殘留在下層椅子的位置，觀察殘留顏料位置，探討疊椅卡住的原因與位置。

(二)結果

我們找了二造型不同的塑膠椅，利用顏料來了解椅子相疊時接觸的情況，結果發現，白椅在椅腳邊緣及下方處(椅腳連接片)有多處殘留顏料，尤其下方處殘留面積較大；藍椅顏料殘留更多了，以上方最多，代表上下椅腳有重疊處多且面積大(圖 13)。

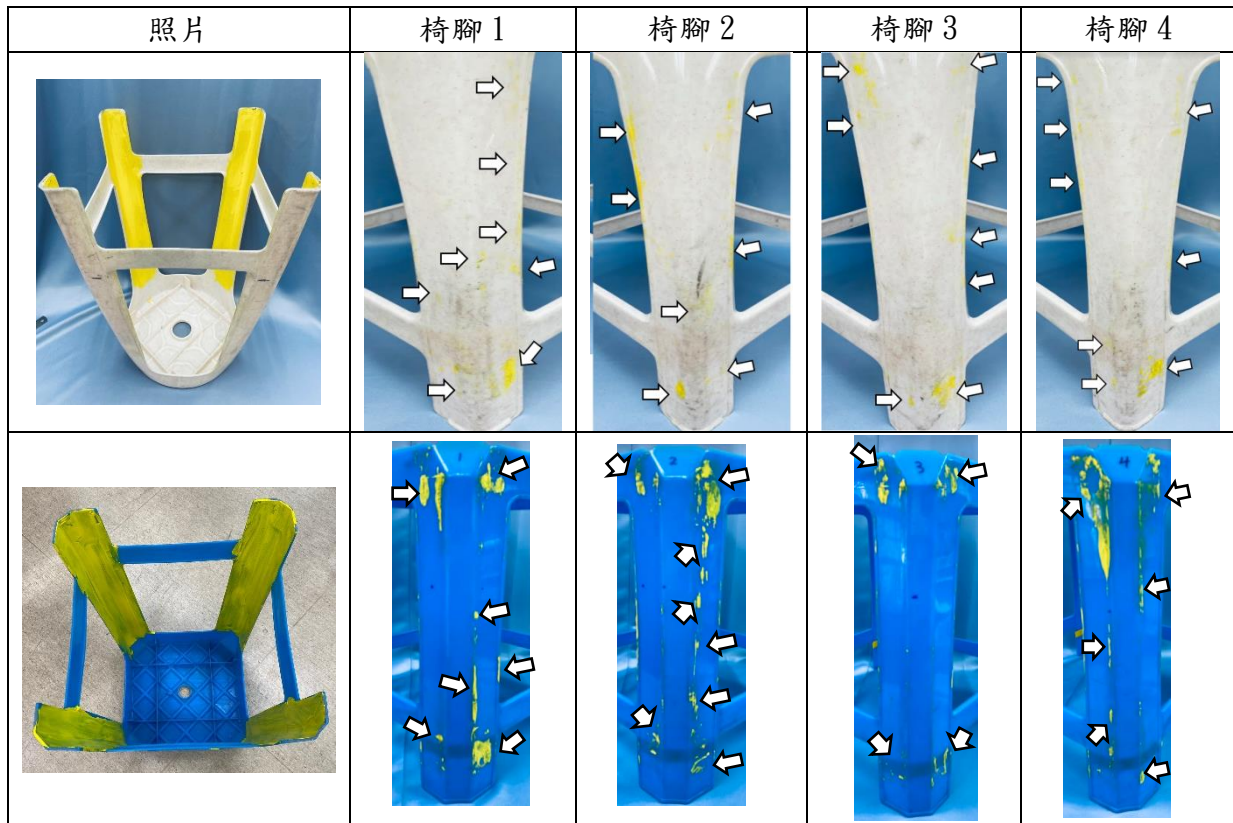


圖 13：顏料殘留分佈

(三)討論

1. 白椅椅腳的邊緣及下方處(接近椅腳連接橫片)多處殘留顏料，尤其下方處殘留面積較大；藍椅顏料殘留除了下方處以外，椅腳上方也有多處顏料殘留的痕跡，相較於白椅的情況顏料面積又更大一些，顯示藍椅上下椅腳有多處重疊。

2. 本實驗雖然使椅子於固定高度 15 公分處進行自由落體，但由於選定的兩種椅子重量並不相同，較重椅子將受更大的引力而向下掉落，由此可知，較重的藍椅在落下交疊時，造成更多面積互相接觸，也因此使得有更多的顏料因摩擦而留下。
3. 因為實驗所使用的兩種椅座形狀有所差異，方形椅座以及椅腳轉角的增加，均會使椅子更容易在疊椅時產生接觸，這也就是為什麼方形的藍椅較圓形的白椅多了許多顏料殘留的原因。

三、研究二：椅腳加魔鬼氈的研究

因為魔鬼氈的毛面摸起來滑滑的，比塑膠椅的椅腳更滑，所以我們最先想到是使用它來改變塑膠椅腳接觸面的材質。黏貼的位置選擇最下方，是猜想，當上面椅子掉下去時，此處最先接觸到下面的椅子，因此，選擇貼在最下方。

【實驗二-1】加魔鬼氈對不同椅子拉開疊椅拉力的影響

(一)變因

操縱變因：魔鬼氈(分不同款椅子-白椅、藍椅) 甲：無 乙：加 2cm 寬魔鬼氈

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、魔鬼氈 (2cm×10.5cm)、塑膠椅尺寸(白椅、藍椅)。

(二)實驗步驟

1. 在不同款椅子(白椅、藍椅)的椅腳內部下方貼魔鬼氈，甲：無 乙：加魔鬼氈。
2. 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同。

【白椅：加 2cm 寬魔鬼氈】






實驗組別	加魔鬼氈寬度		腳距
甲：無			 腳距 4.6cm
乙：加 2cm 寬魔鬼氈			 腳距 5.6cm

圖 14：白椅之不同魔鬼氈寬度實驗

【藍椅：加 2cm 寬魔鬼氈】


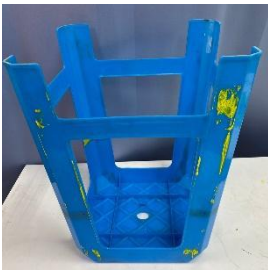


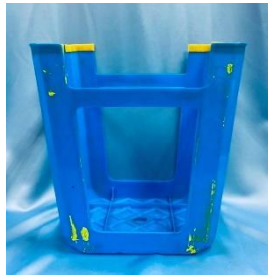

實驗組別	加魔鬼氈寬度		腳距
甲：無			 腳距 4.1cm
乙：加 2cm 寬魔鬼氈			 腳距 5.1cm

圖 15：藍椅之不同魔鬼氈寬度實驗

(三)結果

當白椅和藍椅黏貼 2cm 魔鬼氈時，拉開疊椅所需的拉力有降低，但拉開時仍有卡卡的感覺，因此降低拉力效果有限。

表 1：魔鬼氈寬度對於不同疊椅拉力實驗結果

椅子種類/ 有無魔鬼氈		拉力(kg)					平均	疊椅椅腳 距離(cm)
		1	2	3	4	5		
白椅	甲：無	5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
	乙：加魔鬼氈	4.78	4.94	4.88	4.80	4.49	4.78	5.6
藍椅	甲：無	4.94	4.93	4.88	4.70	4.96	4.88	4.1
	乙：加魔鬼氈	4.03	4.02	3.98	3.95	4.02	4.00	5.1

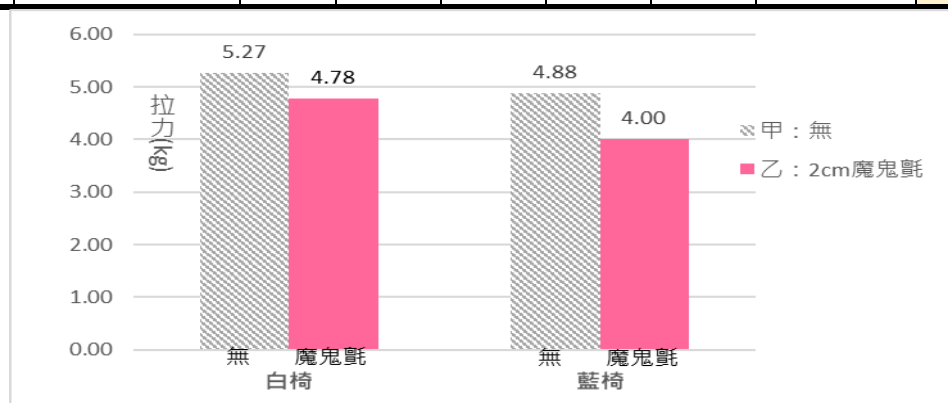


圖 16：魔鬼氈寬度對不同疊椅拉力的影響

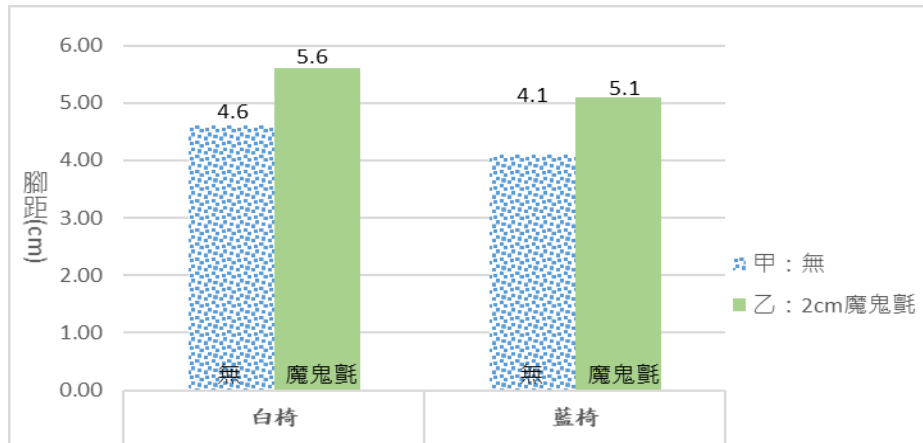


圖 17：魔鬼氈寬度對不同疊椅椅腳距離的影響

(四)討論

1. 由（表 1）可知，白椅和藍椅在無黏貼魔鬼氈時腳距分別為 4.6cm 及 4.1cm，但加了 2cm 魔鬼氈後，腳距分別為 5.6cm 及 5.1cm，這顯示椅子在掉落的過程中，因受到略有厚度魔鬼氈所造成的阻力，使得兩種椅子均提前停止掉落，腳距都較無黏貼魔鬼氈的情形更長。
2. 當白椅和藍椅黏貼 2cm 魔鬼氈時，拉開疊椅所需的拉力有降低，分別是白椅下降 0.49kg、藍椅下降 0.88kg，由結果得知，改變接觸面的性質會影響最大靜摩擦力的大小，原本椅子在加上魔鬼氈後，有效降低疊椅之間的摩擦力。不過拉開疊椅時仍有卡卡的感覺，這代表著魔鬼氈雖可降低拉力，但效果有限，並不能完全消除摩擦力。
3. 選擇椅子款式：因為二種款式的數量以白椅較多，足夠我們繼續往下做更多的實驗，因此，考量到後續實驗方便性，以下實驗都選用白椅。
3. 由於實驗二-1 所使用的是 2cm 魔鬼氈，因此思考，如果魔鬼氈面積變大是否會降低更多？所以挑了白椅做實驗二-2 改變魔鬼氈寬度的實驗。

【實驗二-2】加魔鬼氈寬度對白椅拉開疊椅拉力的影響

(一)變因










操縱變因：加魔鬼氈寬度 甲：無 乙：加 2cm 長 丙：加 5cm 長

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、塑膠椅尺寸(白椅)、魔鬼氈寬度(5cm)。

(二)實驗步驟

1. 在白椅的椅腳內部中方(連接片中間)、下方(連接片中間再往下 5cm 處)黏貼不同寬度的魔鬼氈(長都是 5cm)，甲：無 乙：加 2cm 寬 丙：加 5cm 寬。
2. 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同。

位置		加魔鬼氈寬度		腳距
甲：無				 腳距 4.6cm
乙：加 2cm 寬	中			 腳距 4.9cm
	下			 腳距 5.0cm

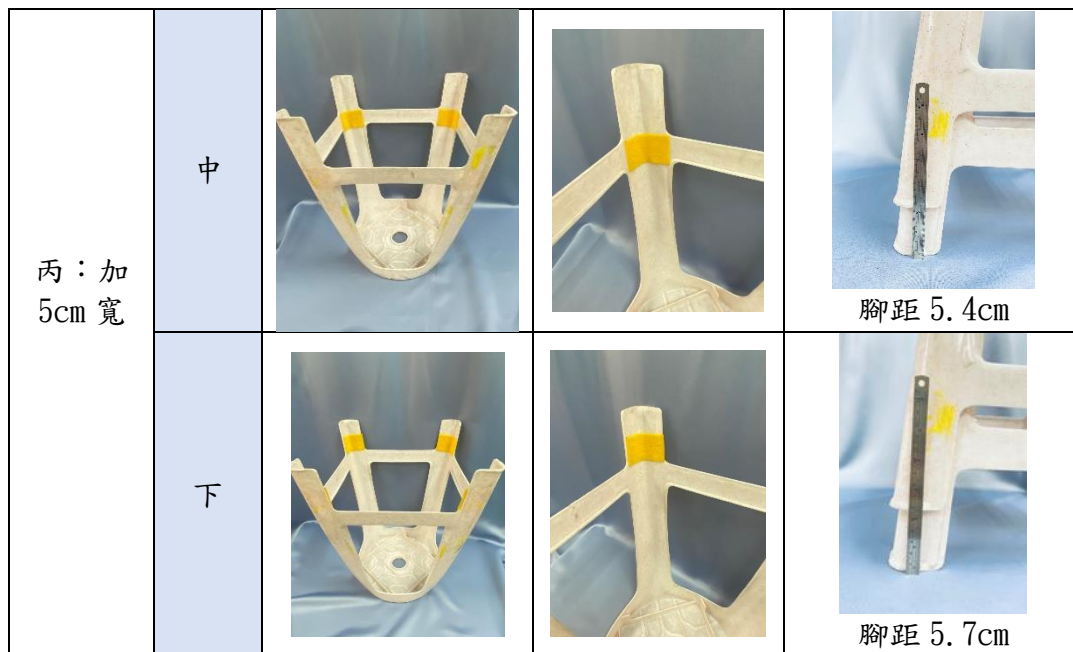


圖 18：魔鬼氈寬度及位置對疊椅拉力影響實驗

(三)結果

黏貼魔鬼氈的寬度分別是 2cm、5cm，黏貼在不同位置，都是在「中」位置(椅腳連接片)降低拉力效果最佳。魔鬼氈寬度不同，2cm 與 5cm 的拉力差距不大，查詢相關資料後得知，摩擦力與接觸面積無關，因此數值會差不多。

1. 2cm 魔鬼氈

對照組無黏貼任何魔鬼氈的疊椅，拉力要高達 5.27kg，四支持腳內部不同位置黏貼 2cm 魔鬼氈，測量拉力及腳距，結果發現：

拉力：無→5.27kg、中→4.67kg、下→4.95kg。

腳距：無→4.6cm、中→4.9cm、下→5.0cm。

表 2：2cm 魔鬼氈位置對疊椅拉力實驗結果

改變魔鬼氈寬度	拉力(kg)					平均	疊椅椅腳距離(cm)
	1	2	3	4	5		
甲：無	5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
乙：2cm 魔鬼氈	中	4.49	4.82	4.48	4.74	4.80	4.9
	下	4.88	4.98	4.88	4.96	5.03	5.0

2. 5cm 魔鬼氈

對照組無黏貼任何魔鬼氈的疊椅，拉力要高達 5.27kg，四支持腳內部不同位置黏貼 5cm 魔鬼氈，測量拉力及腳距，結果發現：

拉力：無→5.27kg、中→4.49kg、下→4.89kg。

腳距：無→4.6cm、中→5.4cm、下→5.7cm。

表 3：5cm 魔鬼氈位置對疊椅拉力實驗結果

改變魔鬼氈寬度		拉力(kg)					平均	疊椅椅腳距離(cm)
		1	2	3	4	5		
甲：無		5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
丙：5cm 魔鬼氈	中	4.26	4.40	4.49	4.53	4.79	4.49	5.4
	下	5.03	5.04	4.88	4.76	4.76	4.89	5.7

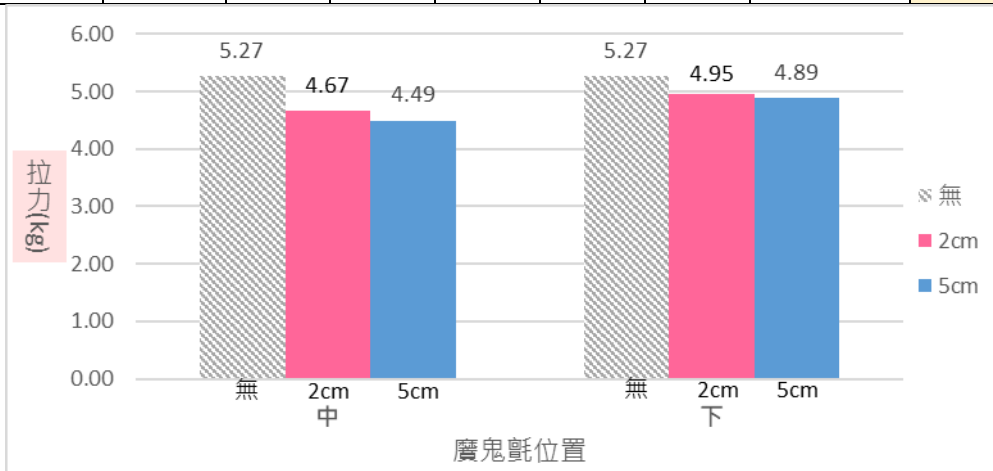


圖 19：魔鬼氈寬度及位置對疊椅拉力的影響

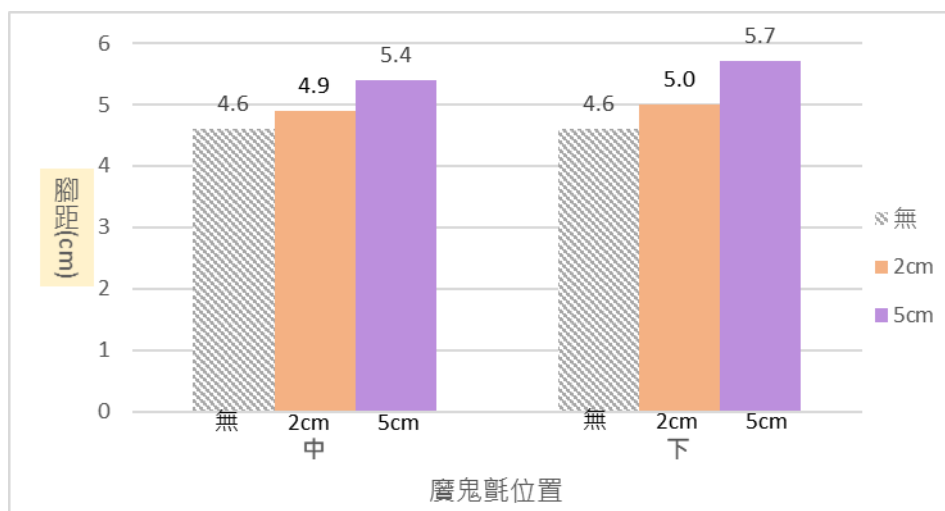


圖 20：魔鬼氈寬度及位置對疊椅拉力的影響

(四) 討論

1. 無魔鬼氈時腳距為 4.6cm，而在中、下兩個位置黏貼 2cm 魔鬼氈後，腳距分別增加為、4.9cm 及 5.0cm，顯示椅子在掉落的過程中，魔鬼氈造成的阻力使兩個位置均有提前停止的情況，且黏貼位置愈下方，受到魔鬼氈影響的時間愈早，相對更快停止掉落且腳距也呈現更長的現象。
2. 黏貼魔鬼氈的寬度分別是 2cm、5cm，並且黏貼在椅腳不同位置：
 - (1) 在「中」位置：降低拉力的效果是最佳的，平均 2cm→降 0.6kg、5cm→降 0.78kg，但

仍需要出力 4.5kg 左右，還是卡卡的，很費力。

(2)在「下」位置：平均 2cm→降 0.32kg、5cm→降 0.38kg。

(3)兩種魔鬼氈寬度都以椅腳「中」位置的效果是最佳，推論可能原因應該與連接片位置有關。本實驗所選的椅子稍微帶有彈性並非完全剛性，因此疊椅在完全掉落後，兩張椅子應該會在連接片周圍接觸最多，所以選擇將魔鬼氈黏貼在「中」位置，可有效改變主要接觸表面的性質，並且降低分開時的拉力。

3. 魔鬼氈寬度不同，2cm 與 5cm 的拉力差距不大。原本以為魔鬼氈越寬，將使更多面積摩擦阻力變小，則拉力會越小，但是，實驗結果是差不多，查詢相關資料後得知，摩擦力與接觸面積無關，因此數值會差不多。

四、研究三：椅腳加裝市售半圓珠的研究

【實驗三-1】市售半圓珠厚度對白椅拉開疊椅拉力的影響

(一)變因

操縱變因：市售半圓珠厚度

甲：5.66mm(小黑) 乙：7.67mm(中橙) 丙：8.33mm(大紅)

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、塑膠椅尺寸(白椅)。

(二)實驗步驟

1. 購買不同厚度的半圓珠，4 支椅腳內側各黏 2 顆，

甲：5.66mm(小黑) 乙：7.67mm(中橙) 丙：8.33mm(大紅)。

2. 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同。


半圓珠數量 半圓珠厚度	4 顆珠		8 顆珠	
甲：5.66mm (小黑)				
乙：7.67mm (中橙)				



圖 21：半圓珠厚度對疊椅拉力實驗

(三)實驗結果

黏貼的半圓珠厚度越厚，則腳距越大，疊椅拉力越小，其中乙珠及丙珠黏貼 8 珠，拉開疊椅的拉力分別為 1.37kg、1.32kg，下降最多。當椅腳距離在 7.9~8.2cm 時，可降至 1.4kg 左右，可以非常輕鬆拉開疊椅，幾乎不卡。建議可黏貼半圓珠厚度大於 7.67mm(每支椅腳 2 顆，共 8 顆)，此狀況幾乎不必出力就能拉開疊椅。

表 4：半圓珠厚度對疊椅拉力實驗結果

市售半圓珠厚度		拉力(kg)					平均	疊椅椅腳距離(cm)
		1	2	3	4	5		
無		5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
甲：5.66mm (小黑)	4 顆	3.76	3.96	3.88	3.96	3.78	3.87	5.2
	8 顆	3.52	3.45	3.41	3.57	3.52	3.49	5.6
乙：7.67mm (中橙)	4 顆	3.86	3.76	3.87	3.89	3.75	3.83	5.9
	8 顆	1.37	1.34	1.36	1.43	1.35	1.37	7.9
丙：8.33mm (大紅)	4 顆	3.88	3.8	3.79	3.8	3.84	3.82	6.3
	8 顆	1.27	1.25	1.36	1.39	1.34	1.32	8.2

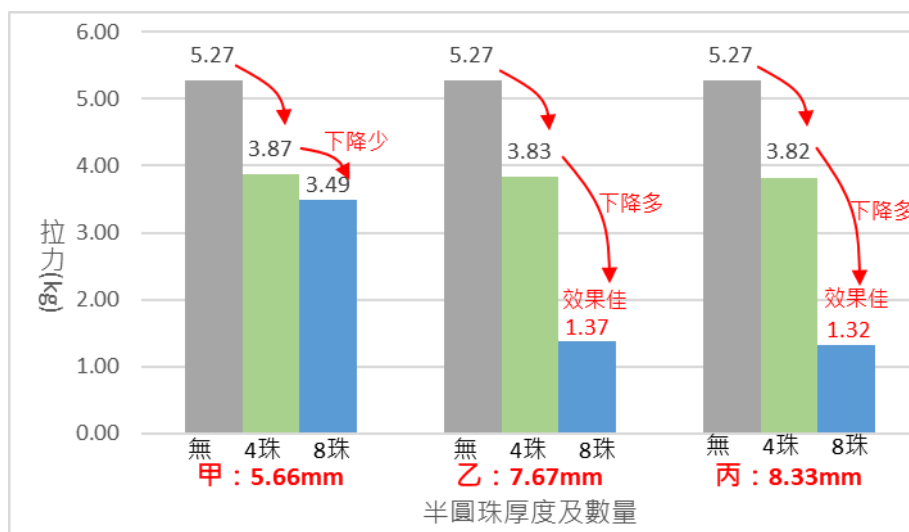


圖 22：半圓珠厚度及數量對疊椅拉力的影響







顆數	甲：5.66mm (小黑)	乙：7.67mm (中橙)	丙：8.33mm (大紅)
4 顆	 腳距 5.2cm	 腳距 5.9cm	 腳距 6.3cm
8 顆	 腳距 5.6cm	 腳距 7.9cm	 腳距 8.2cm

圖 23：半圓珠厚度及數量對疊椅腳距的影響

(四)實驗討論

1. 黏貼的半圓珠厚度越厚，則腳距越大，疊椅拉力越小，其中乙珠及丙珠黏貼 8 珠時，拉開疊椅的拉力分別為 1.37kg、1.32kg，下降最多。由於半圓珠材質多為 ABS 樹脂，材質硬度高且有一厚度存在，因此半圓珠在兩疊椅交疊時，提供一空間，有效的減少椅子之間的接觸，結果顯示半圓珠的厚度愈厚、數量愈多的腳距就愈大，椅子接觸的面積相對減少（圖 24），呈現拉力下降的效果。



圖 24：黏貼半圓珠兩物體表面受力示意圖

2. 當椅腳距離在 5.2~6.3cm 時，拉力可降至 3.8kg 左右，但拉開疊椅時仍有卡卡的感覺。可知半圓珠厚度大小和數量，對於腳距的影響較明顯，不過對於拉力的結果沒有明顯的差異。
3. 當椅腳距離在 7.9~8.2cm 時，可降至 1.4kg 左右，可以非常輕鬆拉開疊椅，幾乎不卡。建議可黏貼半圓珠厚度大於 7.67mm(每支椅腳 2 顆，共 8 顆)，此狀況使疊椅之間接觸情形減少，幾乎不必出力就能拉開疊椅。

【實驗三-2】市售半圓珠厚度對椅腳殘留顏料的影響

(一)變因

操縱變因：市售半圓珠厚度

甲：無 乙：5.66mm(小黑) 丙：7.67mm(中橙) 丁：8.33mm(大紅)

應變變因：測量殘留顏料的面積及位置 單位： cm^2

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、塑膠椅尺寸(白椅)。

(二)實驗步驟

1. 購買不同厚度的半圓珠，4支椅腳內側各黏2顆，
甲：無 乙：5.66mm(小黑) 丙：7.67mm(中橙) 丁：8.33mm(大紅)。
2. 將黃色顏料塗滿4支椅腳的內部
3. 二張相同的塑膠椅(白椅)，上下椅子固定間隔15cm，以自由落體落下，形成二張椅子的疊椅，白椅疊起再拉開，重複共三次。
4. 使用透明的百格板觀察並測量顏料殘留在下層椅子的位置與面積。

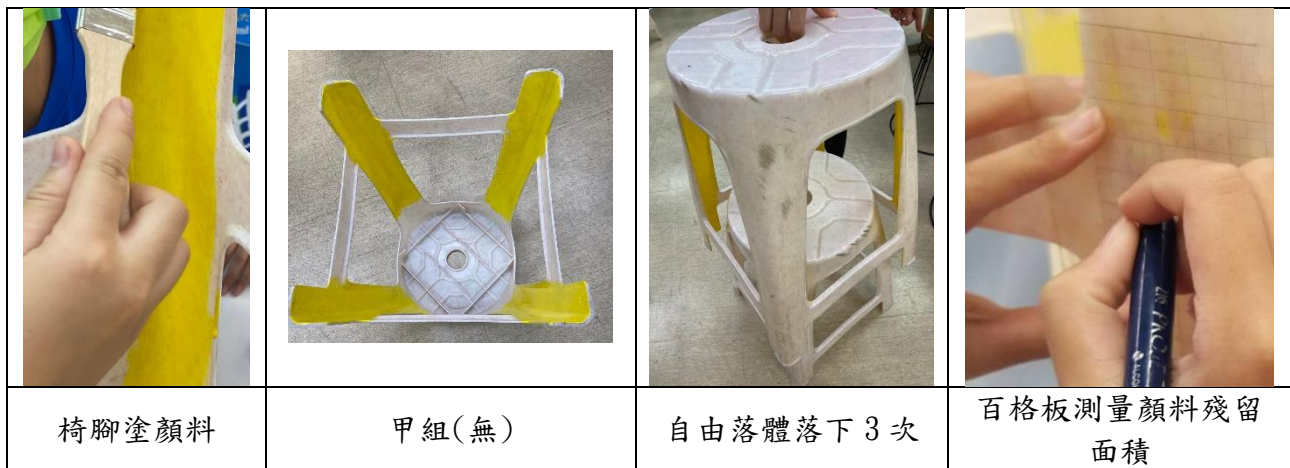


圖 25：測量顏料殘留實驗

(三)結果與討論

市售半圓珠厚度越厚，則摩擦造成的殘留顏料面積越少，顯示較厚的半圓珠較薄的半圓珠更能避免椅子間的接觸情形，大於8.33mm的部份實驗(其中一隻椅腳)甚至可達到接觸面積 0 cm^2 的理想情形。

表 5：半圓珠厚度對殘留顏料面積實驗結果

市售半圓珠厚度	殘留顏料面積 (cm ²)				合計
	椅腳 1	椅腳 2	椅腳 3	椅腳 4	
甲：無	5.7	5.5	4	4.8	20
乙：5.66mm(小黑)	3.2	3.5	4.1	4	14.8
丙：7.67mm(中橙)	1.5	1.6	1.5	2	6.6
丁：8.33mm(大紅)	1.2	1.5	1.4	0	4.1

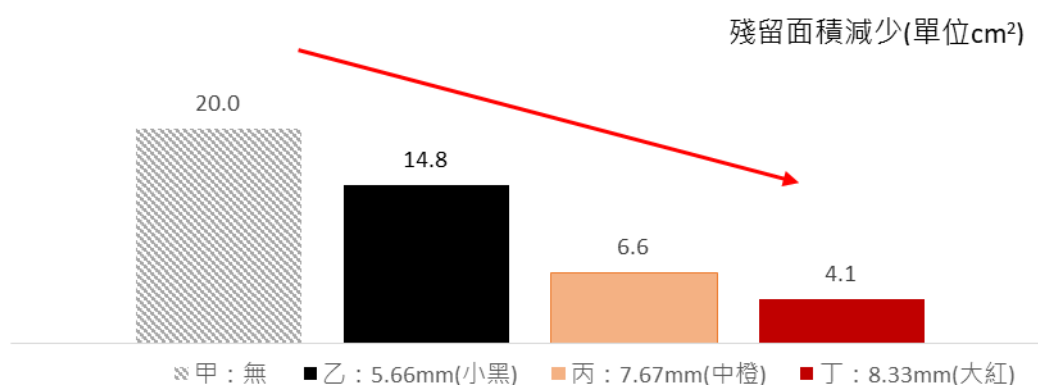


圖 26：半圓珠厚度影響殘留顏料面積趨勢

組	照片	椅腳 1	椅腳 2	椅腳 3	椅腳 4
無					
<p>1. 椅腳的邊緣及下方處多處殘留顏料，尤其下方處殘留面積較大。</p> <p>2. 顏料殘留多，高達 20cm²，代表上下椅腳有重疊處多且面積大，卡得較緊。</p>					


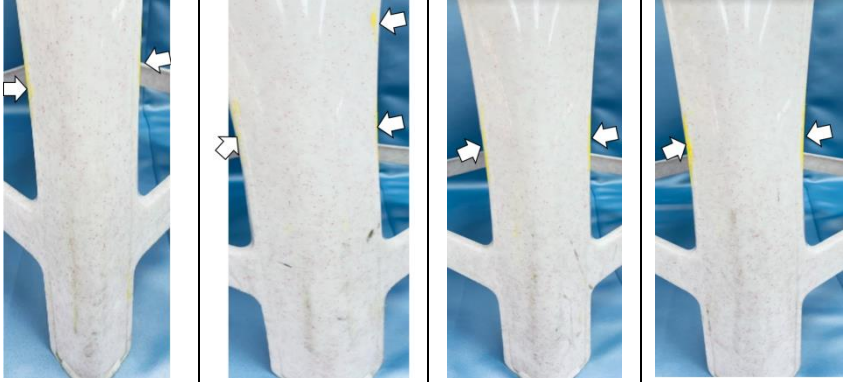



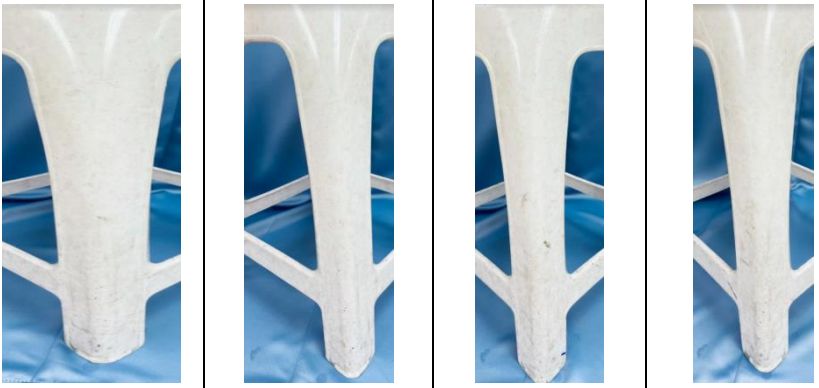
<p>小黑</p>		
		<p>1. 只有邊緣線有些許的顏料殘留。 2. 顏料殘留少，有 14.8cm^2，代表上下椅腳有重疊處少，卡得較鬆。</p>
<p>中橙</p>		
		<p>顏料有少部分殘留，有 6.6cm^2，椅腳有些微的重疊，但還是幾乎無卡住。</p>
<p>大紅</p>		
		<p>顏料有少許殘留，有 4.1cm^2，椅腳有些微的重疊，但還是幾乎無卡住。</p>

圖 27：半圓珠厚度對殘留顏料面積的影響

五、研究四、椅腳加裝自製半圓珠的研究

【實驗四-1】自製半圓珠厚度對減少疊椅拉力的影響

(一)變因

操縱變因：自製半圓珠厚度

甲：無 乙：4.5mm 丙：5mm 丁：5.5mm 戊：6mm 己：6.5mm 庚：7mm 辛：7.5mm

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、塑膠椅尺寸(白椅)。

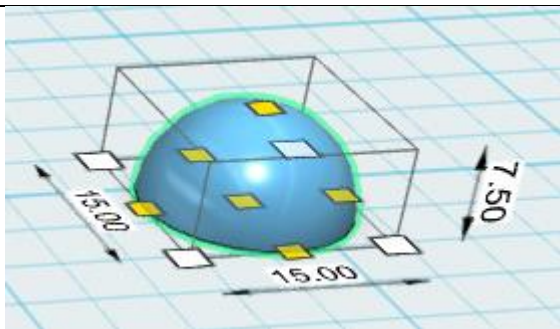


圖 28：三D繪圖製作半圓珠



圖 29：列印不同厚度的半圓珠

(二)實驗步驟

- 三D繪圖製作不同厚度的半圓珠，4支椅腳內側各黏2顆自製珠，甲：無 乙：4.5mm 丙：5mm 丁：5.5 戊：6mm 己：6.5mm 庚：7mm 辛：7.5mm。
- 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同。

半珠厚度	自製珠		相疊情況
甲：無			 腳距 4.6cm
乙：4.5mm			 腳距 5cm




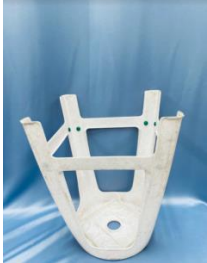







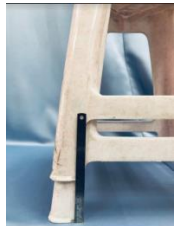






丙：5mm			 腳距 5.4cm
丁：5.5mm			 腳距 5.8cm
戊：6mm			 腳距 6cm
己：6.5mm			 腳距 6.6cm
庚：7mm			 腳距 6.8cm
辛：7.5mm			 腳距 7.3cm

圖 30：自製半圓珠對疊椅拉力的影響

(三)結果

表 6：自製半圓珠對疊椅拉力實驗結果

自製半圓珠厚度 \ 拉力(kg)	1	2	3	4	5	平均	疊椅椅腳距離(cm)
甲：無	5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
乙：螢光 4.5mm	4.12	4.14	4.21	4.23	4.36	4.21	5
丙：透明 5mm	2.94	2.83	2.86	3.06	2.9	2.92	5.4
丁：深綠 5.5mm	1.89	1.85	1.98	1.96	1.93	1.92	5.8
戊：橙 6mm	1.93	1.95	1.95	2.06	2.00	1.98	6
己：綠 6.5mm	1.97	1.93	1.98	1.94	1.93	1.95	6.6
庚：黃 7mm	1.68	1.51	1.52	1.59	1.45	1.55	6.8
辛：白 7.5mm	1.31	1.28	1.27	1.31	1.25	1.28	7.3

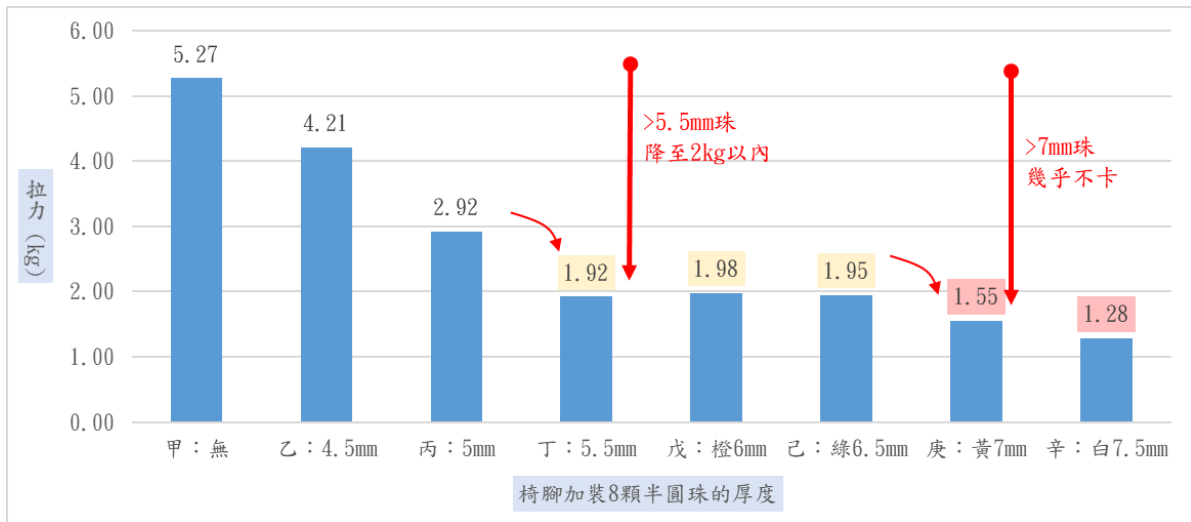


圖 31：半圓珠厚度對疊椅拉力影響趨勢

(四)討論

1.4 支椅腳內側各黏 2 顆自製珠，結果發現：

- (1)半圓珠厚度 5.5mm、6mm、6.5mm 時，拉力可從 5.27kg 降至 2kg 以內，此時腳距從 4.6cm 拉高為 5.8cm~6.6cm，此狀況一般小朋友稍微出力就能拉開疊椅。
 - (2)半圓珠厚度大於 7mm 時，拉力更降為 1.55kg 以內，此時腳距拉高為 6.8cm 以上，此狀況幾乎不必出力就能拉開疊椅。
2. 由本實驗得知，若要讓疊椅幾乎不卡，建議黏貼厚度 7mm 的半圓珠(針對白椅款式)，讓二張疊椅的腳距拉高為 6.8cm 以上，就能達到效果。
3. 腳距拉高可以降低疊椅的拉力，但相對的，會佔用較多的空間，能相疊椅子的數量就會減少，因此我們以 2~10 張椅子相疊時，加裝 5.5mm、7mm 這二款珠進行估算(圖 33)。

(1) 5.5mm 半圓珠：相疊 10 張時，增加佔用空間的高度僅有 10.8cm，大約佔一張椅子的 1/4 而已。

(2) 7mm 半圓珠：相疊 10 張時，增加佔用空間的高度 19.8cm，佔一張椅子不到 1/2 的高度。

因此，即使相疊 10 張椅子，加裝半圓珠雖然會佔用較多的空間高度，但增加的高度不多，卻有不卡的大效果（表 7）。

表 7：半圓珠與疊椅數量對拉力實驗結果

疊椅數量 腳距差距(cm)	疊椅數量								
	2 椅	3 椅	4 椅	5 椅	6 椅	7 椅	8 椅	9 椅	10 椅
5.5mm 珠與對照組腳距的差距	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8
7mm 珠與對照組腳距的差距	2.2	4.4	6.6	8.8	11	13.2	15.4	17.6	19.8

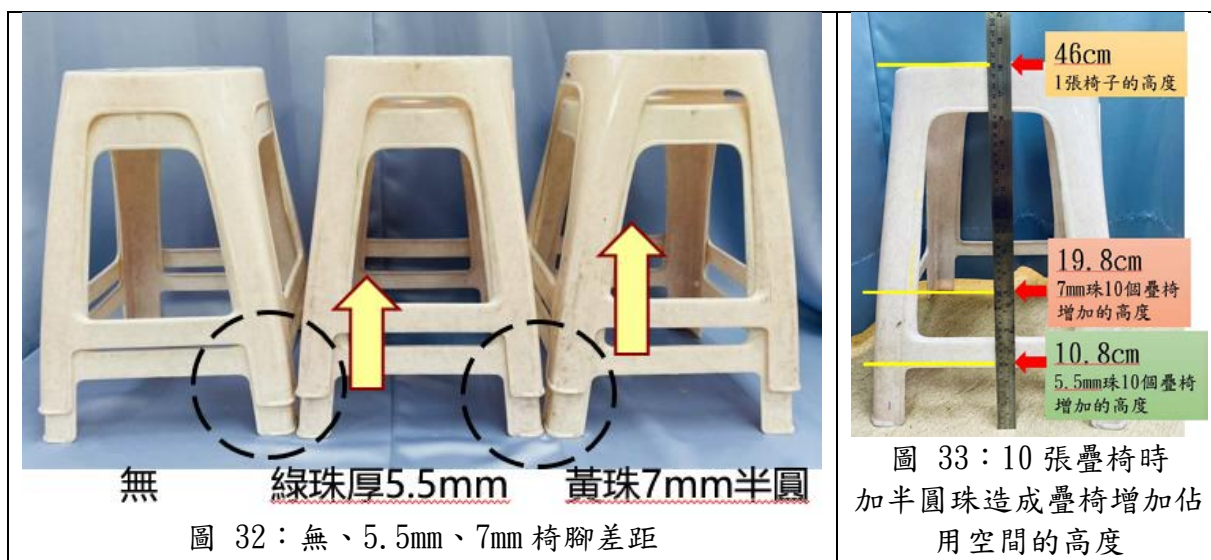


圖 32：無、5.5mm、7mm 椅腳差距

圖 33：10 張疊椅時加半圓珠造成疊椅增加佔用空間的高度

【實驗四-2】自製半圓珠加裝在不同位置對減少疊椅拉力的影響

(一)變因

操縱變因：不同位置

甲：無 乙：上(離中位置上 5cm) 丙：中(中位置) 丁：下(離中位置下 5cm)

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、塑膠椅尺寸(白椅)、自製珠(5.5mm 深綠色)。

(二)實驗步驟

1. 3D繪圖製作不同厚度的半圓珠，甲：無 乙：上位置 丙：中位置 丁：下位置
2. 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同。










半珠厚度	自製珠		相疊情況
甲：無			 腳距 4.6cm
乙：上位置			 腳距 5.05cm
丙：中位置			 腳距 6.1cm



圖 34：自製半圓珠加裝在不同位置對疊椅拉力的影響

(三)實驗結果

在白椅椅腳上黏貼 5.5mm 厚度的半圓珠，分別黏貼上、中、下，結果發現：黏貼在「中」位置的效果最佳：拉力從 5.27kg 降降至 1.92kg，下降最多，此時觀察到腳距從 4.6cm 拉高為 6.1cm，我們推測應該是因為「椅腳連接片」位在「中」的位置，在此處黏貼了半圓珠，結果證實是拉力下降最多的。

表 8：自製半圓珠加裝在不同位置對疊椅拉力實驗結果

自製半圓珠厚度 \ 拉力(kg)	拉力(kg)					平均	疊椅椅腳距離 (cm)
	1	2	3	4	5		
甲：無	5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	4.6
乙：上(離中位置上 5cm)	3.84	3.62	3.91	3.85	3.88	3.82	5.05
丙：中(中位置)	1.89	1.85	1.98	1.96	1.93	1.92	6.1
丁：下(離中位置下 5cm)	4.26	4.45	4.33	4.29	4.22	4.31	6.2

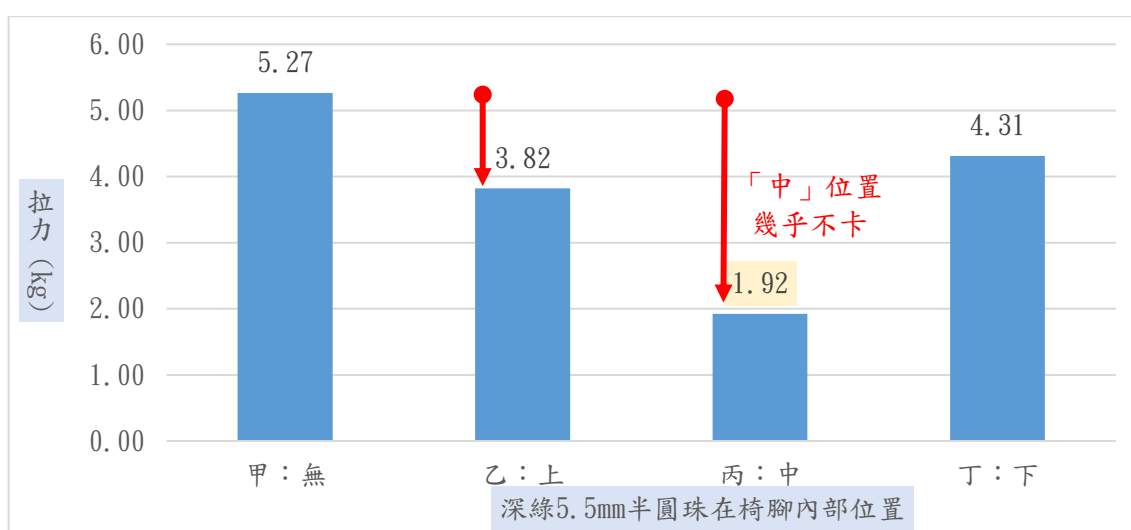


圖 35：不同位置半圓珠對疊椅拉力影響趨勢

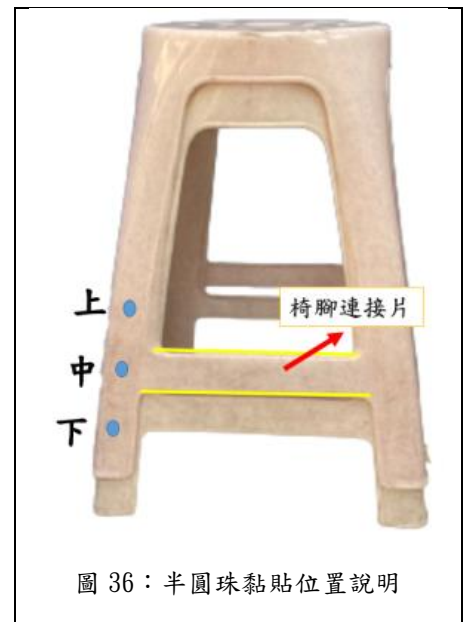
(四)實驗討論

1. 在白椅椅腳上黏貼 5.5mm 厚度的半圓珠，分別黏貼上、中、下（圖 36），結果發現：

(1) 黏貼在「中」位置的效果最佳：拉力從 5.27kg 降至 1.92kg，下降最多，此時觀察到腳距從 4.6cm 拉高為 6.1cm，比原來多 1.5cm。我們推測應該是因為「椅腳連接片」位在「中」的位置，而且之前做的實驗，證實此處的顏料殘留是最多的，代表這最關鍵的位置，在此處黏貼了半圓珠，可大幅減少椅子接觸所造成的摩擦阻力，結果證實是拉力下降最多的。

(2) 黏貼在「下」位置的情況較為特別，雖然之前推論出椅腳距離越大，拉力就越小，但是「下」位置的椅腳距離雖然比「中」位置還高，拉力卻比中位置還大，推測原因為聚丙烯(pp)椅子的材質特性及椅子構造所造成。由於 pp 材質具有質輕、高拉伸強度等特性，使得椅腳連接片以下的椅腳，因為黏有半圓珠椅子的擠壓，而形成向內側「夾」的力量，雖然此時腳距為 6.2cm，但產生的「夾」力反而增加了摩擦的阻力，使得拉力卻是 4.31 kg，只比原來減少了 0.96 kg。

2. 黏貼位置的效果：中>上>下，建議黏貼位置在「椅腳連接片」此處的高度，效果會最佳。



【實驗四-3】加裝半圓珠在不同款式椅子對減少疊椅拉力的影響

(一)變因

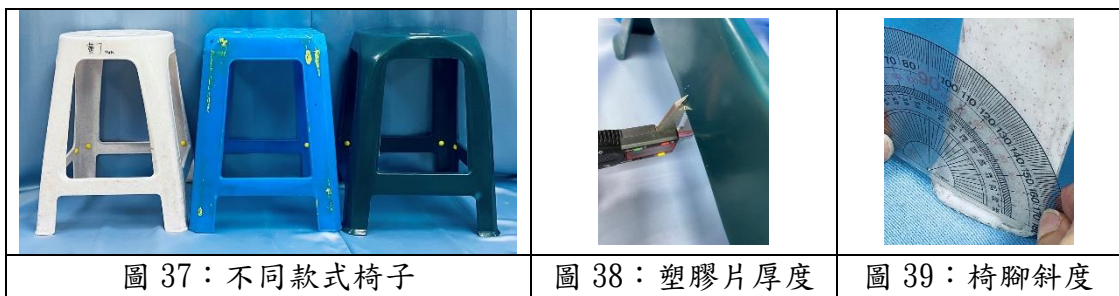
操縱變因：不同款式椅子 甲：白椅 乙：藍椅 丙：綠椅

應變變因：測量拉開疊椅的拉力 單位：kg

控制變因：上面塑膠椅往下掉落形成疊椅的距離(15cm)、自製半圓珠厚度(黃珠 7mm)。

(二)實驗步驟

1. 在不同款式椅子甲：白椅 乙：藍椅 丙：綠椅，椅腳內側連接片處(中位置)用熱熔膠各加裝自製半圓珠厚度(黃珠 7mm)。
2. 實驗方法與 p. 4 測量拉力的方法相同，並測量塑膠片厚度及椅腳斜度。




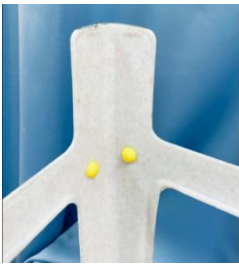



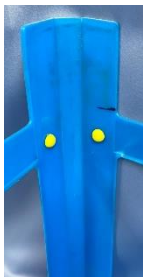


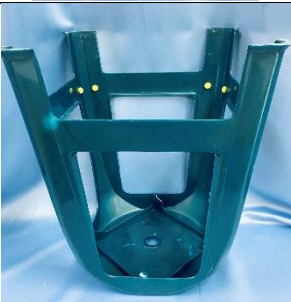



款式	加黃珠(7mm)		相疊情況	
甲： 白椅				
乙： 藍椅				
丙： 綠椅				

圖 40：半圓珠厚度對不同款式疊椅拉力的影響

(三)結果

表 9：自製半圓珠對疊椅拉力實驗結果

椅子款式		拉力(kg)					平均	腳距上升	塑膠片厚度	椅腳傾斜角度
		1	2	3	4	5				
甲：白椅	無珠	5.36	5.24	5.33	5.17	5.23	5.27	2.2cm	2.93mm	6°
	加黃珠	1.68	1.51	1.52	1.59	1.45	1.55			
乙：藍椅	無珠	4.94	4.93	4.88	4.70	4.96	4.88	4cm	3.02mm	4°
	加黃珠	3.50	3.39	3.36	3.32	3.45	3.40			
丙：綠椅	無珠	4.97	4.95	4.96	5.07	5.10	5.01	3.75cm	2.85mm	4°
	加黃珠	3.93	3.85	4.02	3.98	3.94	3.94			

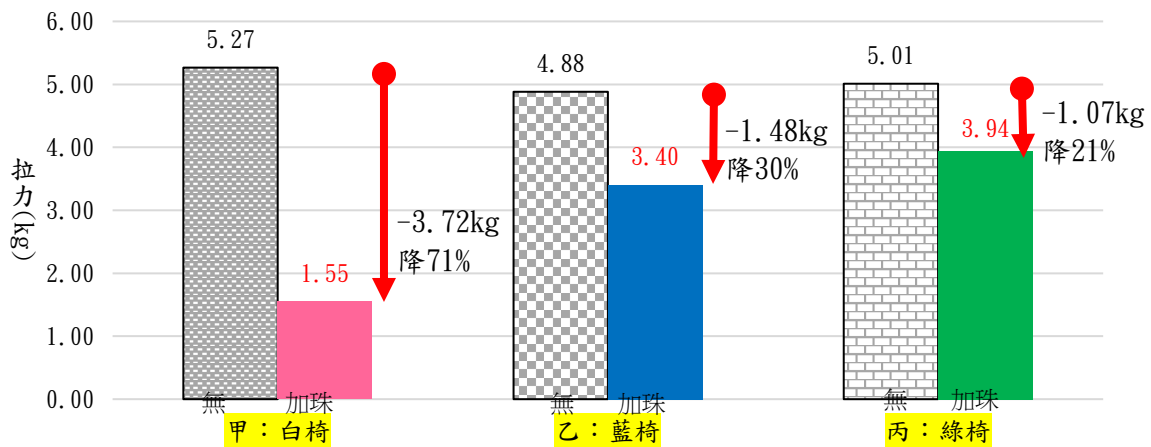


圖 41：半圓珠厚度對不同款式疊椅拉力影響趨勢

(四)實驗討論

1. 加裝 7mm 黃珠在不同款式椅腳上，結果發現都能降低拉力，其中甲組白椅下降最多是 3.72kg(降 71%)>乙組藍椅 1.48kg(降 30%)>丙組綠椅 1.07kg(降 21%)。

2. 分析白椅降最多的原因：

(1)塑膠片厚度三款椅子都是大約接近 3mm，影響不大。

(2)斜度：白椅椅腳較傾斜，加黃珠後上升高度只有 2.2cm，但有極佳的降低拉力的效

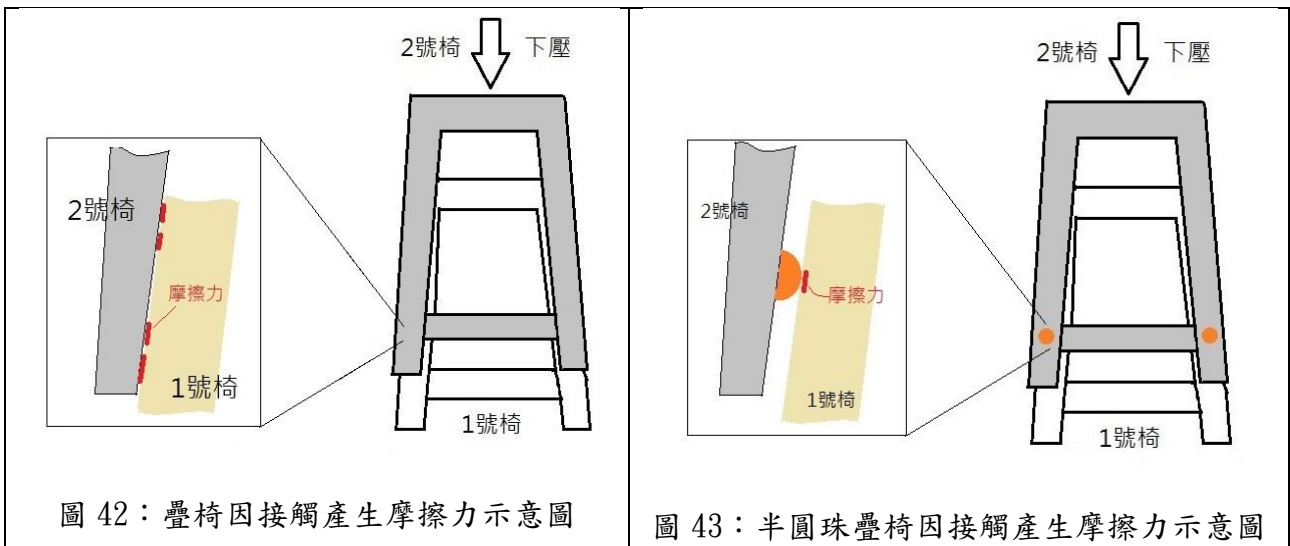
果。藍椅與綠椅椅腳較陡直，加黃珠後上升高度 4cm、3.75cm，但降低拉力效果較差，我們從圖 13(p.5)顏料殘留的實驗結果推測，加珠後較陡直的椅腳解除了連接片附近的卡緊程度，但還有其他接觸點易卡住。

六、疊椅的力學分析

(一)當 2 號椅疊在 1 號椅上面時

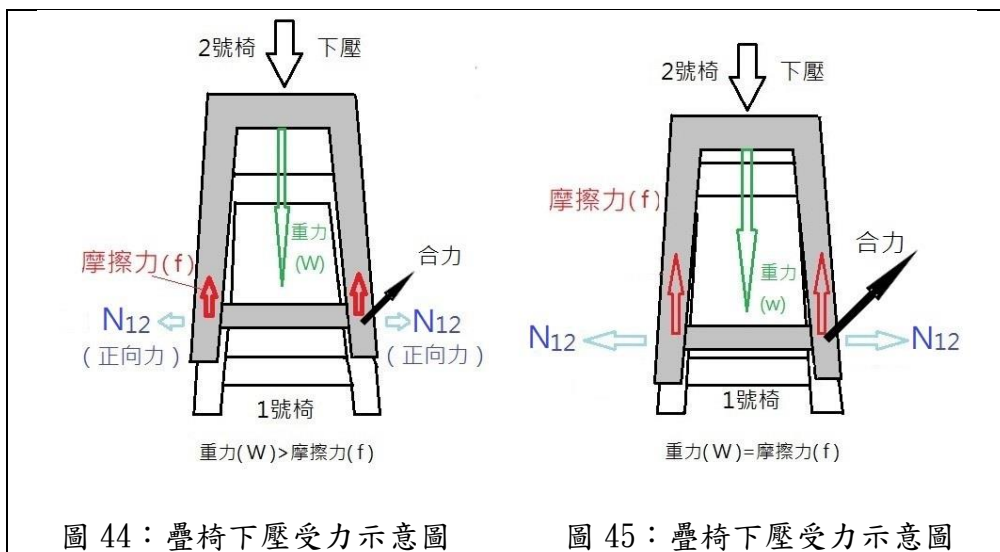
如果沒有加裝半圓珠，腳距較小，也就是 2 號椅會壓得比較下面，且有多處與 1 號椅接觸(圖 42)。

如果有加裝半圓珠，腳距較大，也就是 2 號椅會疊在比較上面的位置，而且與 1 號椅接觸點就只有半圓珠(圖 43)。



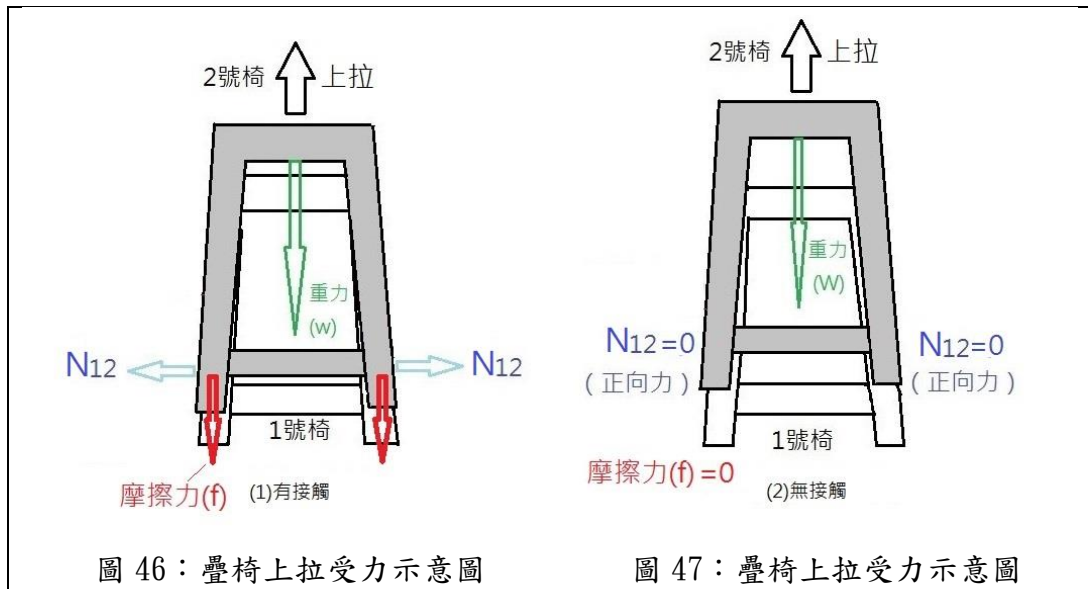
(二)當 2 號椅正在往下壓落在 1 號椅時

如果椅子重力(W)是往下的，此時的摩擦力(f)是相反方向往上的，正向力(N)是垂直摩擦力(f)，向外的，重力(W) > 摩擦力(f)，所以持續往下(圖 44：疊椅下壓受力示意圖)；當重力(W) = 摩擦力(f)時，就停止往下(圖 45：疊椅下壓受力示意圖)。



(三)當 2 號椅往上拉時

當往上拉動兩個接觸的椅子時，所需最小拉力必須要大於兩個向下力量的總合（重力+摩擦力），才可以拉動 2 號椅(圖 46)；當兩個椅子分開的同時，2 號椅不再向內夾住 1 號椅，所以向外的正向力=0，摩擦力=0(圖 47)。



接著更進一步探討摩擦力，由(圖 46)可知外力 (F) = 重力 (W) + 摩擦力 (f)，我們比較了無加裝、加 2cm 魔鬼氈以及 5.5mm 厚度的半圓珠情形下，需要的最小拉力，並推估因為接觸後所產生的摩擦力。黏貼 5.5mm 厚度的半圓珠相較於無加裝任何裝置，拉力 5.27kg 降至 1.92kg；也因為半圓珠使得摩擦力從 4.56 kg 降至 1.21kg (表 10)。

表 10：加裝不同物品對計算魔擦力的結果

魔鬼氈或半圓珠		平均拉力 (kg)	摩擦力(kg) (f=F-w)
白椅 (W=0.71 kg)	甲：無加裝	5.27	4.56
	乙：加 2cm 魔鬼氈	4.78	4.07
	丙：5.5mm 厚度的半圓珠	1.92	1.21
	丁：7.5mm 厚度的半圓珠	1.28	0.57

肆、結論

一、研究一：分析疊椅卡住的原因

從顏料殘留發現，塑膠椅的四支腳之間是利用「椅腳連接片」相連(圖 1)，會產生夾力，才讓四支腳變得穩固不往外鬆開，而且此處顏料殘留較多，卡得最緊，是最關鍵的位置。

二、研究二：椅腳加魔鬼氈的研究

1. 【實驗二-1】加魔鬼氈對不同椅子拉開疊椅拉力的影響

在白椅和藍椅的椅腳黏貼 2cm 魔鬼氈時，拉力分別僅降低 0.49kg、0.88kg，此時拉開疊椅仍有卡卡的感覺，因此降低拉力效果有限。

2. 【實驗二-2】加魔鬼氈寬度對白椅拉開疊椅拉力的影響

以「椅腳連接片」當做「中」位置，將寬度分別是 2cm、5cm 的魔鬼氈，分別黏貼在不同位置，結果發現，都是在椅腳連接片降低拉力效果稍佳；但寬度不同，拉力差距不大。

三、研究三：椅腳加裝市售半圓珠的研究

1. 【實驗三-1】市售半圓珠厚度對白椅拉開疊椅拉力的影響

黏貼的半圓珠厚度越厚，則腳距越大，疊椅拉力越小，其中乙珠(中澄珠)及丙珠(大紅珠)黏貼 8 珠，拉開疊椅的拉力分別為 1.37kg、1.32kg，下降最多，可以非常輕鬆拉開疊椅，幾乎不卡。

2. 【實驗三-2】市售半圓珠厚度對椅腳殘留顏料的影響

從殘留面積分析，也發現市售半圓珠厚度越厚，則殘留顏料面積越少，代表卡得越鬆。

四、研究四、椅腳加裝自製半圓珠的研究

1. 【實驗四-1】自製半圓珠厚度對減少疊椅拉力的影響

半圓珠厚度 5.5mm、6mm、6.5mm 時，拉力可從 5.27kg 降至 2kg 以內，只要稍微出力就能拉開疊椅。厚度大於 7mm 時，拉力更降為 1.55kg 以內，幾乎不必出力就能拉開疊椅。

2. 【實驗四-2】自製半圓珠加裝在不同位置對減少疊椅拉力的影響

5.5mm 厚度半圓珠黏貼上、中、下不同位置，以黏貼在關鍵位置「椅腳連接片」效果最佳，拉力從 5.27kg 降至 1.92kg，下降最多。

3. 【實驗四-3】加裝半圓珠在不同款式椅子對減少疊椅拉力的影響

加裝 7mm 黃珠在不同款式椅腳上，結果發現都能降低拉力，其中甲組白椅下降最多。

綜合以上，要改善疊椅卡住的問題，有兩個面向，其一，是針對已量產出來的椅子，建議椅腳加裝厚度大於7mm半圓珠，就完全不卡了。其二，是從設計生產端改善，本研究的結果建議直接在椅腳內部設計凸面，請廠商直接開模成一體成型的塑膠椅，就能解決卡住的問題。

伍、參考資料

李瑞庚(2009)。一種疊不死式塑膠椅。大陸新型專利 CN201542110U。資料來源：
<https://patentimages.storage.googleapis.com/28/12/11/e6779d42c7f8a8/CN201542110U.pdf>。

無作者(2021)。摩擦力。ZTA 線上教育資源整合平台。資料來源：

<https://www.zetria.org/view.php?subj=physics&chap=ifpgstpudg>。

【評語】 080112

本作品本探討塑膠椅相疊卡住的原因，並提出在椅腳加裝物品(魔鬼氈或半圓珠)用來改善疊椅的困擾。從顏料殘留發現，塑膠椅的四支腳之間是利用椅腳連接片相連，是最關鍵的位置。

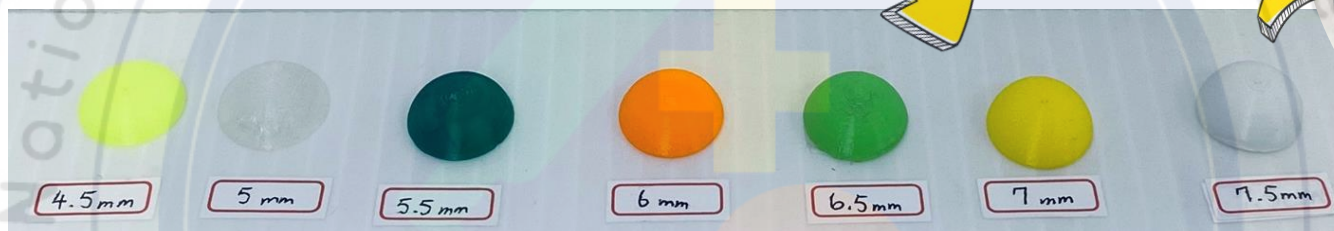
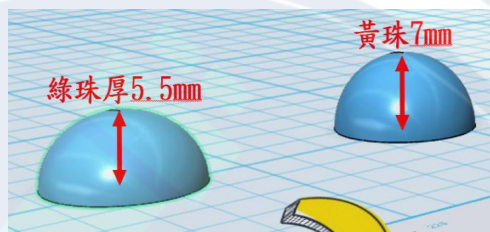
實驗發現在椅腳加裝魔鬼氈降低拉力效果有限，而椅腳加裝半圓珠，半徑越大、厚度越厚，則可大幅降低疊椅之間的摩擦力。

本作品變因控制相當完整，而且同學學習了塑膠椅子卡住的摩擦力大小，並提出了一些解決的方案。藉由實驗的成果也都顯示同學的解決方式可以明顯降低塑膠椅子卡住的摩擦力大小，實驗結果非常具有實用性，是一份和日常生活連結性相當好的研究。

作品簡報



打不開!!



加半圓珠

改善疊椅卡住之研究

科 別：物理科
組 別：國小組
編 號：080112

壹、前言

一、研究動機



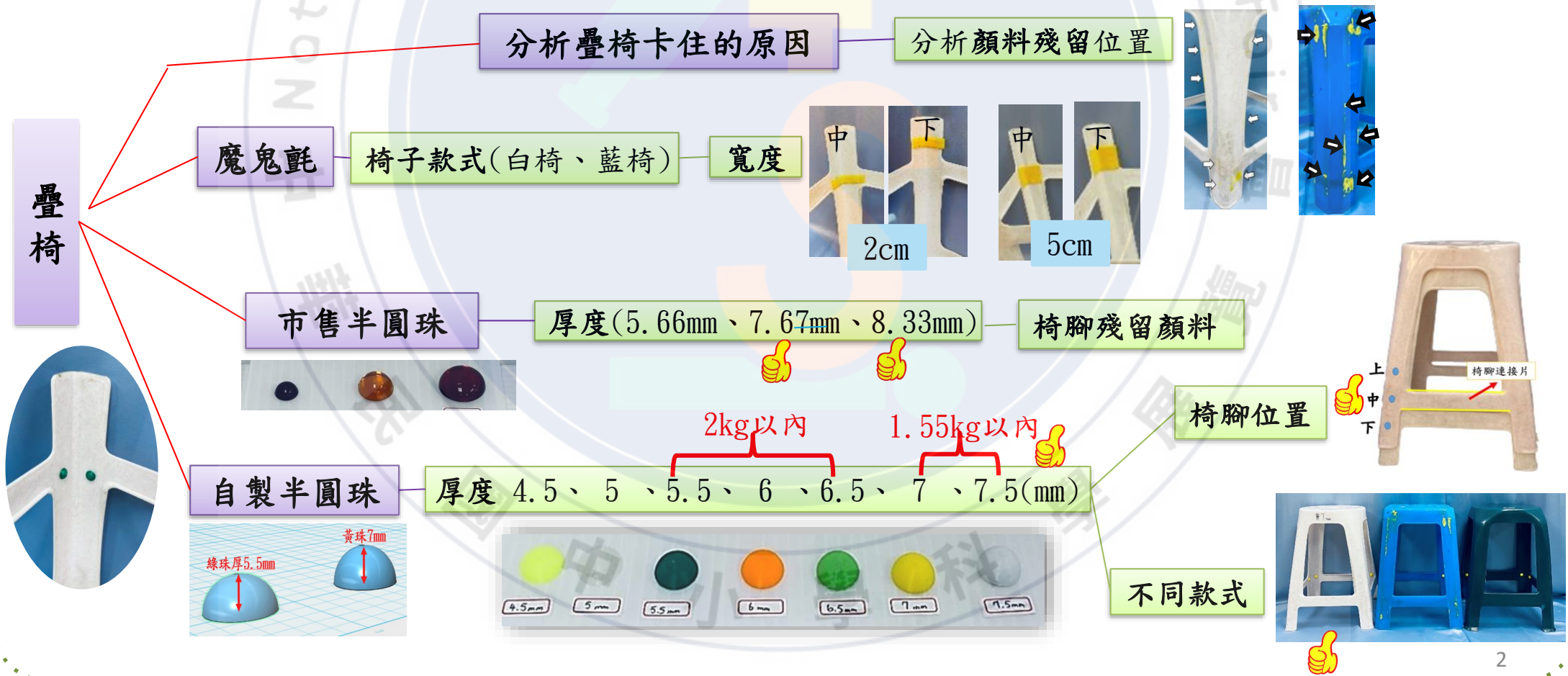
打不開!!

塑膠椅疊在一起常常會卡住，年紀大、小朋友、或不方便的人，他們的手較無力，拔椅子的過程可能會受傷，所以我們想要改良塑膠椅，達到方便使用及減少受傷的風險，

因此我們利用魔鬼氈、市售半圓珠、3D列印的自製珠來減少椅腳的摩擦力，並探討哪項物品能減少最多椅腳拉力。

二、研究目的

探討塑膠椅相疊卡住的原因，並提出在椅腳加裝物品(魔鬼氈或半圓珠)用來改善疊椅的困擾。



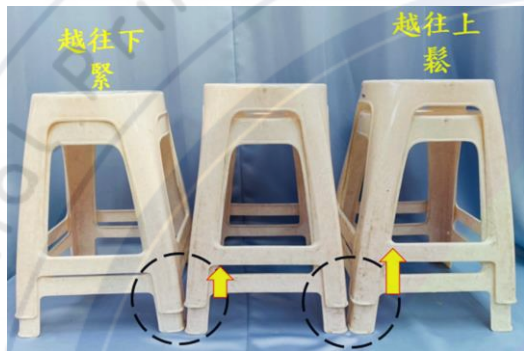
三、文獻資料

- 塑膠椅會卡住是因為上下相疊的椅腳產生摩擦力。
- 當手的拉力小於最大靜摩擦力+椅重就會拔不開。



「連接片」將4支腳框住，產生夾力。

上窄下寬梯形設計

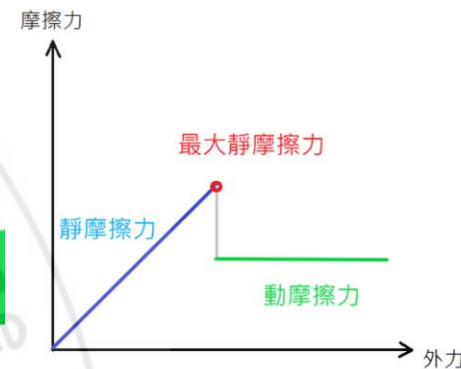


塑膠椅堆疊時，會往下卡住，越往下就卡得越緊。

摩擦力與阻力



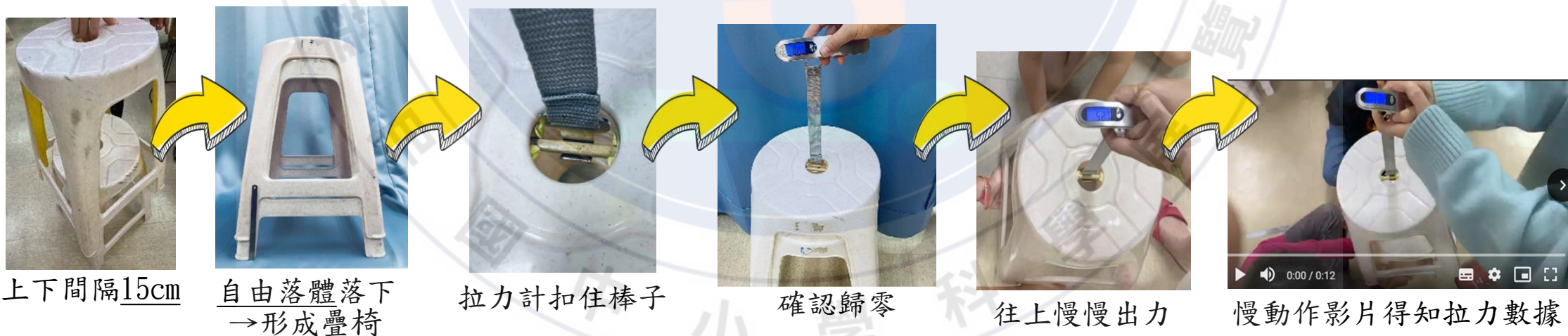
動摩擦力，大小與正向力和物體之間的摩擦係數有關。



本實驗所記錄的數值是最大靜摩擦力。

貳、研究過程、結果與討論

一、拉開疊椅拉力的測量方法

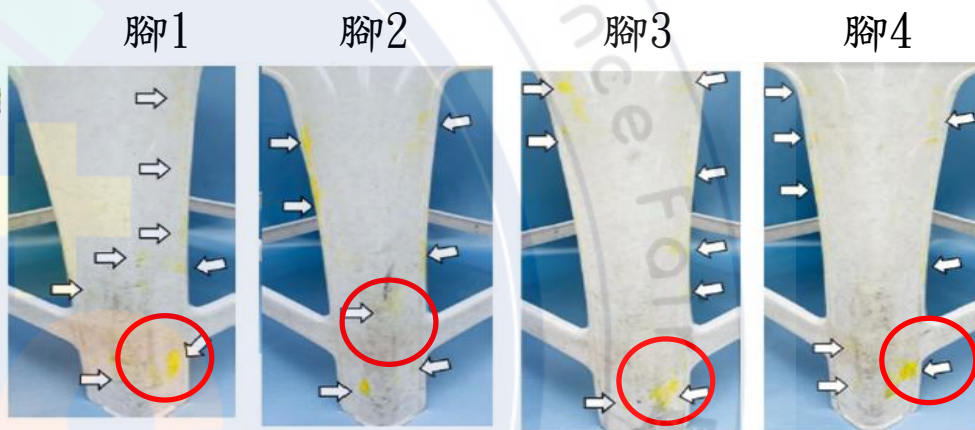
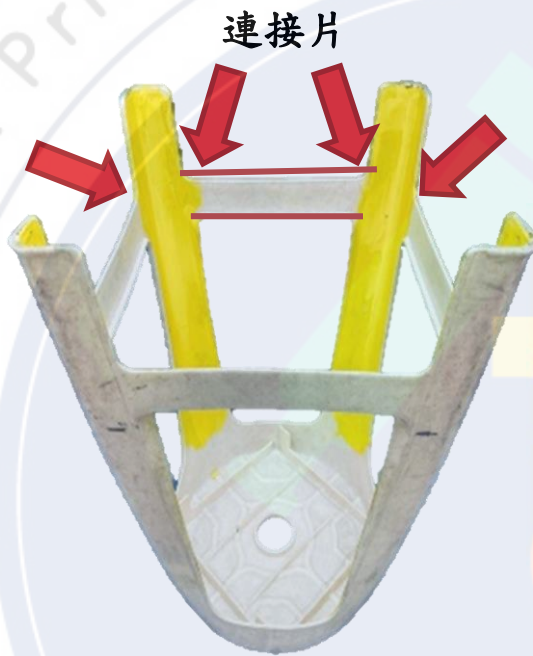


確保每次相疊卡住的程度是相同的

重複共5次，再取平均

二、研究一：分析疊椅卡住的原因

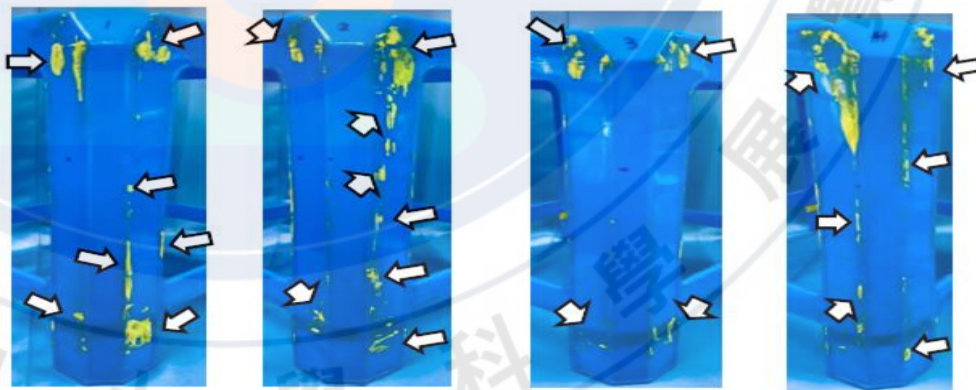
步驟



白椅：椅腳邊緣及椅腳連接片附近有多處殘留顏料。



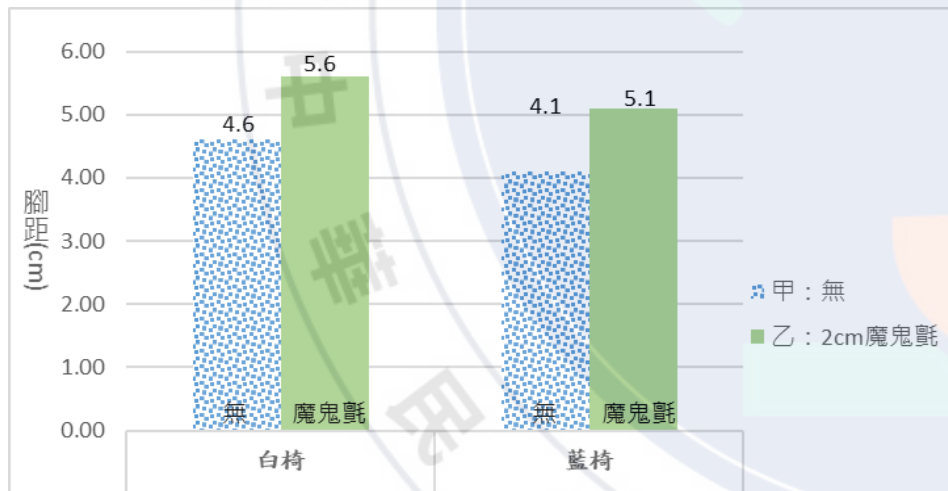
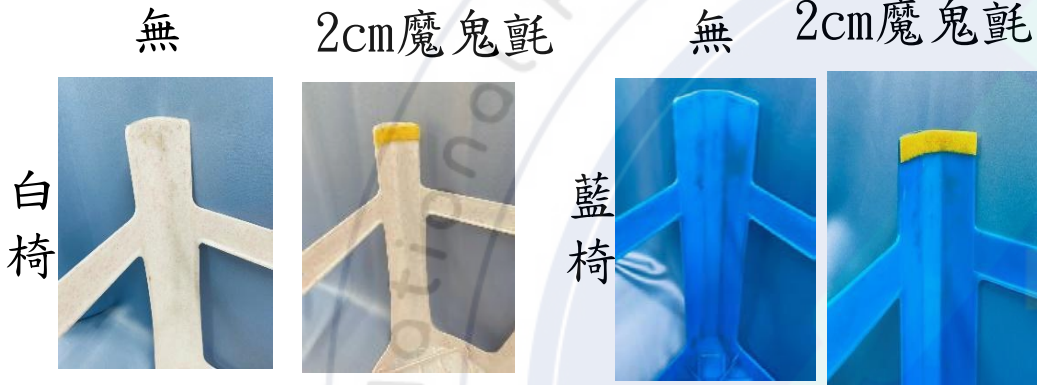
上下間隔15cm，落下，
重複三次。



藍椅：則是在椅腳上下有多處重疊。

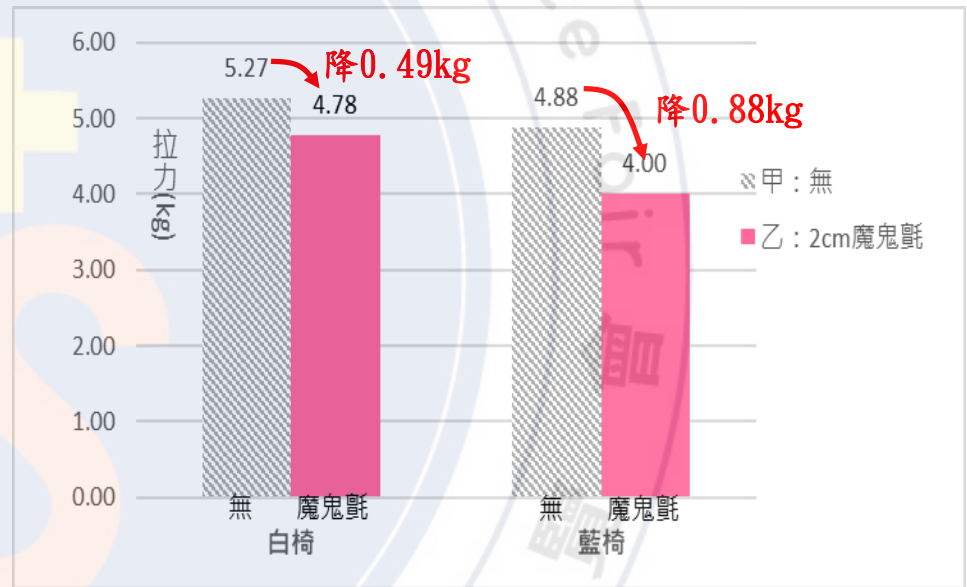
三、研究二：加裝魔鬼氈對疊椅拉力影響實驗

(一)實驗二-1、不同椅子加裝魔鬼氈



討論

- 實驗二-1是貼2cm魔鬼氈，白椅降低0.49kg，藍椅降低0.88kg。
- 但仍卡卡的，降低拉力效果有限。
- 腳距也都有升高。



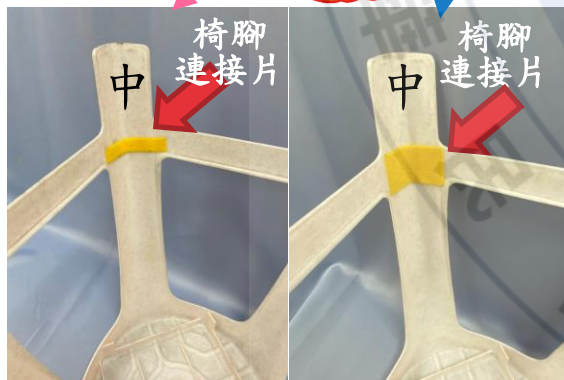
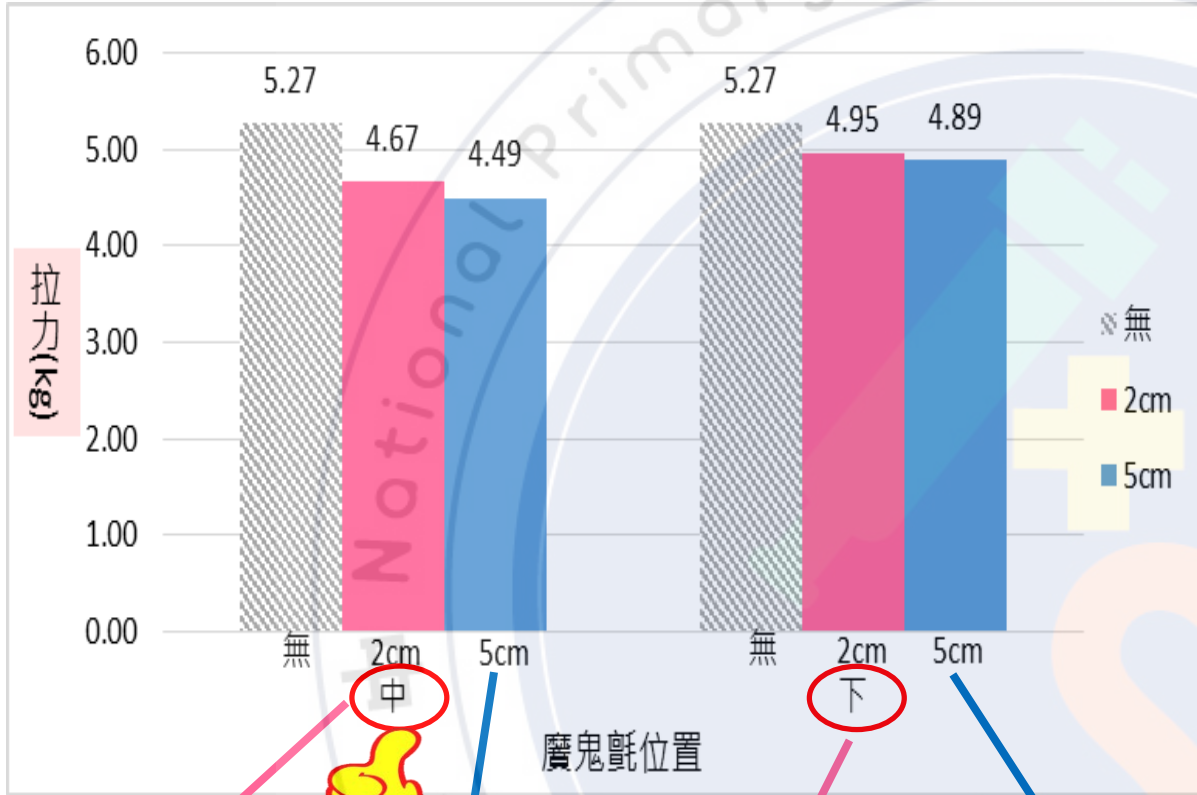
- 因為椅子數量關係，以下實驗都用白椅。
- 用白椅做二-2實驗，分別將2cm、5cm魔鬼氈貼在中、下的不同位置。

魔鬼氈面積變大是否會降低更多？

(二) 實驗二-2、不同位置、寬度加裝魔鬼氈

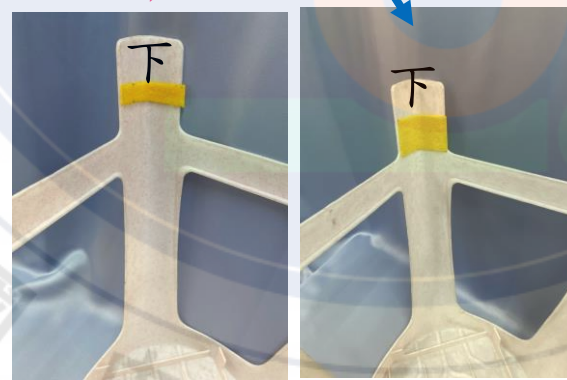
討論

- 兩種寬度都以椅腳連接片位置(「中」位置)降低拉力效果最佳。
- 推論椅子帶有彈性並非完全剛性，而由研究一得知連接片位置殘留顏料最多，也就是接觸面積最多。
- 魔鬼氈選擇貼在這個位置，可有效降低拉力。
- 魔鬼氈寬度不同，拉力差距不大。



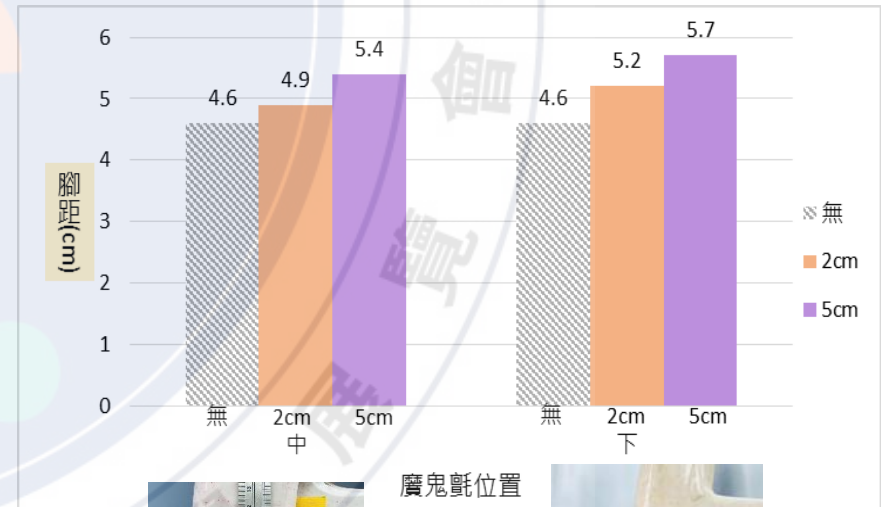
2cm 魔鬼氈

5cm 魔鬼氈



2cm 魔鬼氈

5cm 魔鬼氈

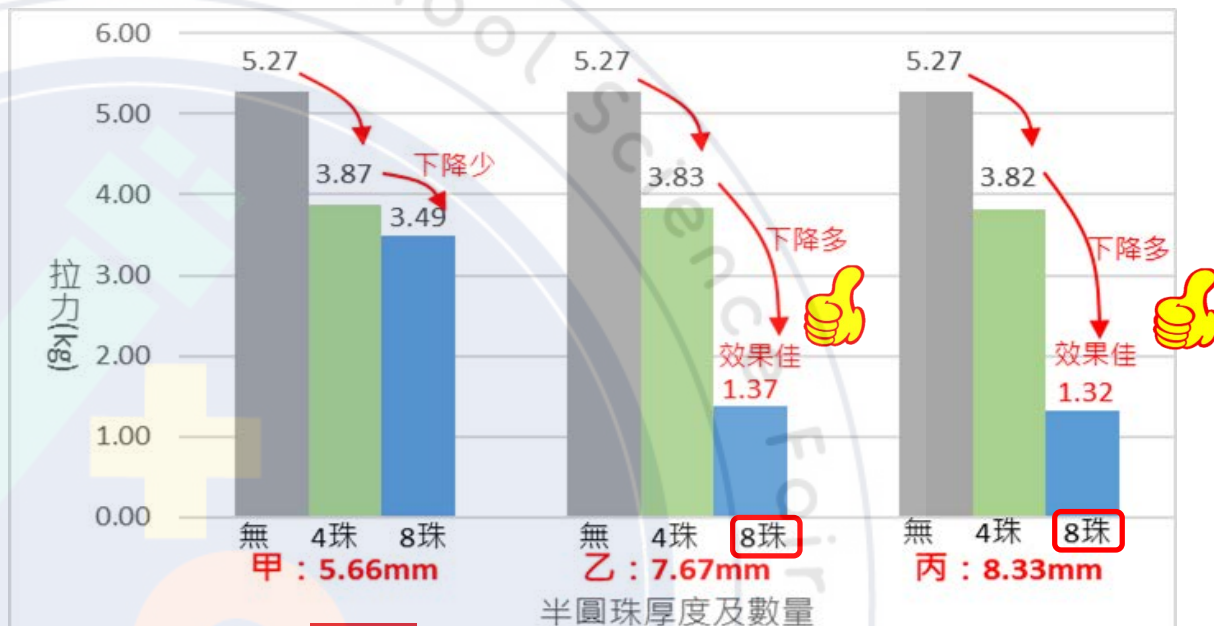
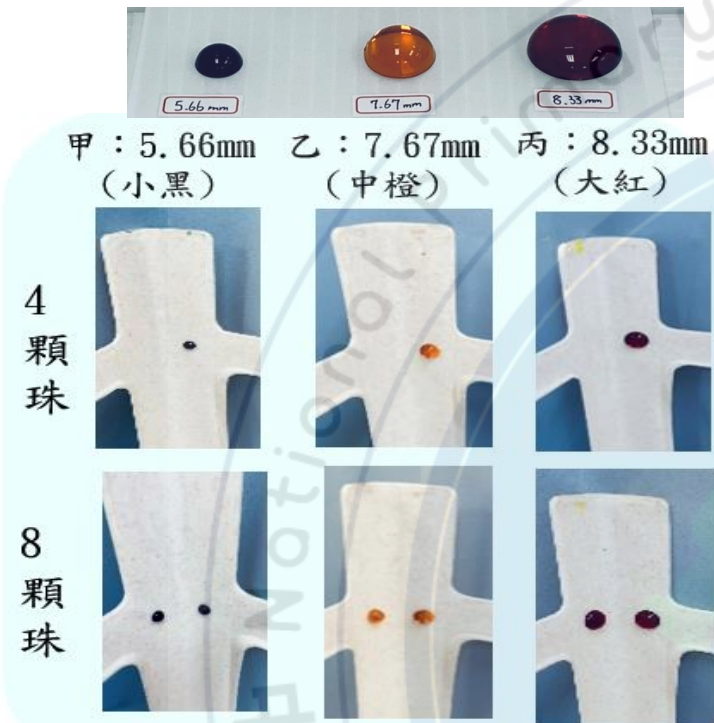


魔鬼氈位置



四、研究三、市售半圓珠研究

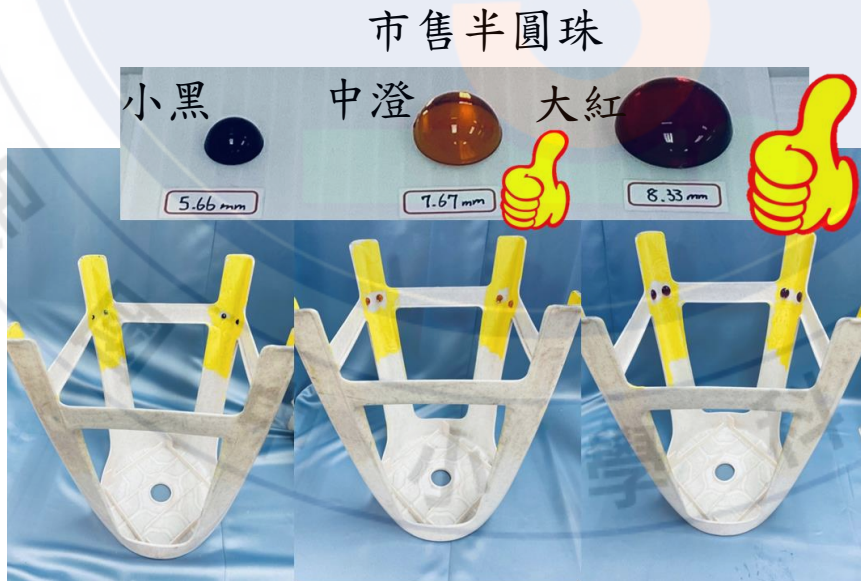
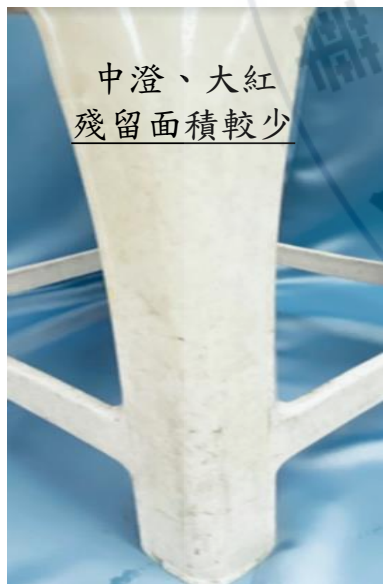
(一) 實驗三-1：市售半圓珠厚度



討論

➤ 發現黏八顆厚度7.67mm、8.33mm的半圓珠，幾乎不出力就能拉開疊椅。

(二) 實驗三-2：市售半圓珠厚度對殘留顏料面積影響



討論

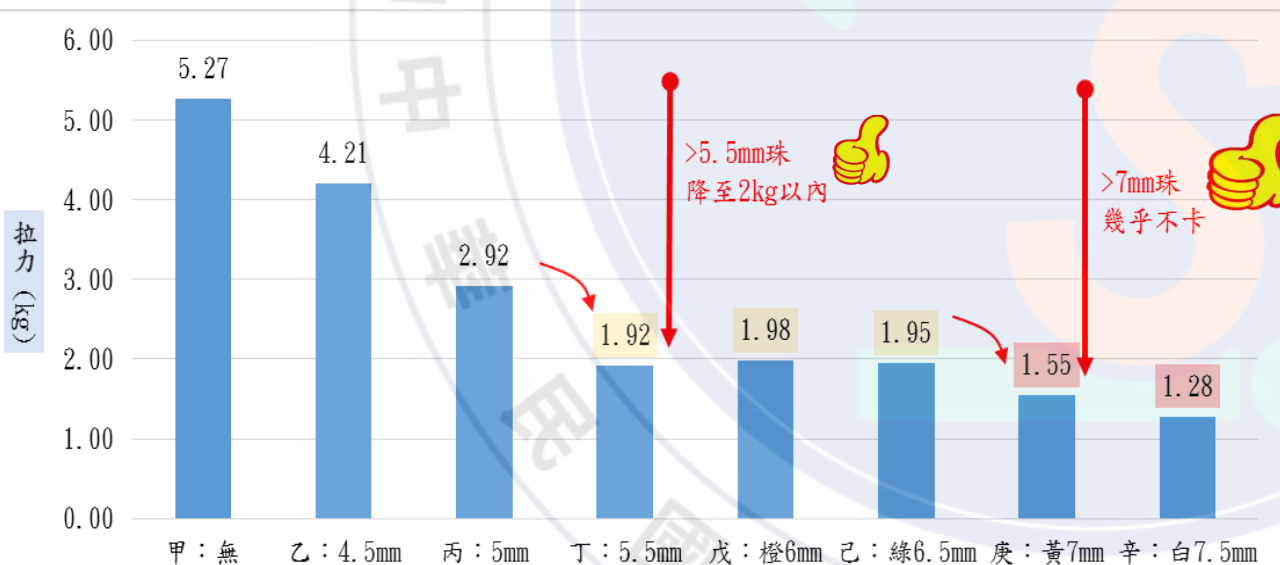
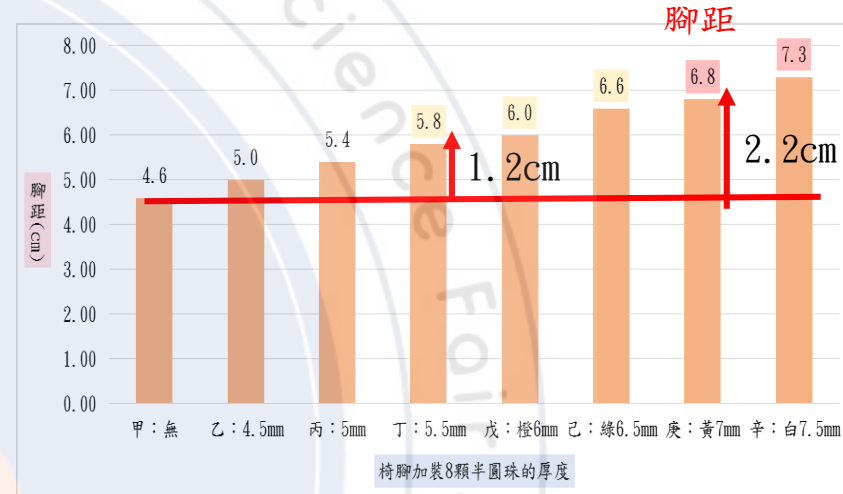
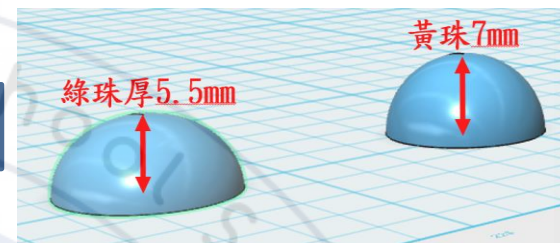
- 做殘留顏料的實驗，也發現這二款殘留面積也較少。
- 由此得知，厚度大於7.67mm(中澄)半圓珠效果就不錯了。

五、研究四、椅腳加裝自製半圓珠的研究

(一) 實驗四-1 自製半圓珠厚度對減少疊椅拉力的影響

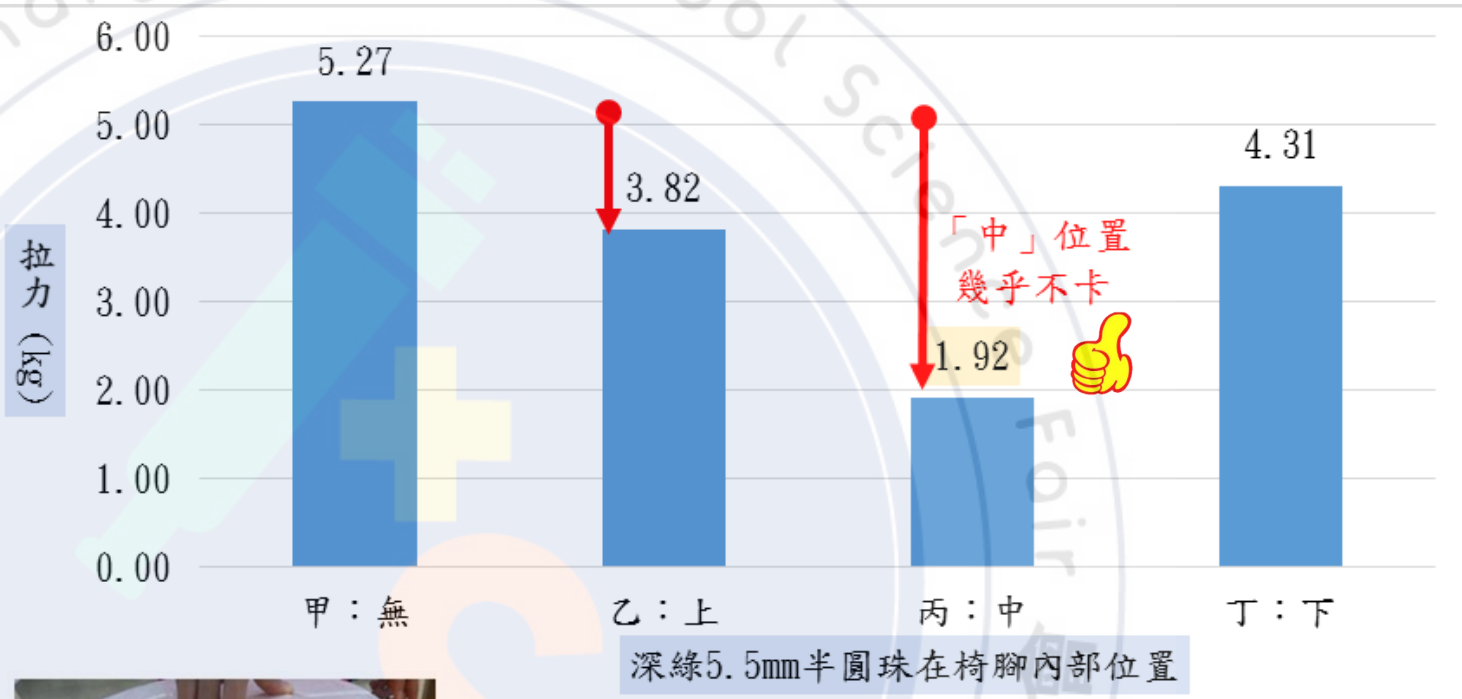
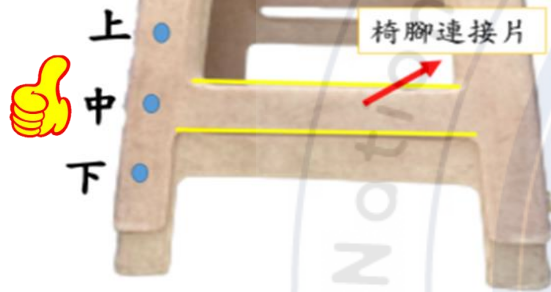
討論

- 我們想往下找低於7.67mm(中澄珠)的厚度，用3D列印自製半圓珠，從4.5~7.5mm。
- 結果發現：
 - (1) 5.5、6、6.5mm，拉力從5.27kg可以降至2kg以內，稍微出力就能拉開疊椅。
 - (2) 大於7mm時，拉力更降為1.55kg以內，腳距升高1、2cm就能有不卡的效果。



(二) 實驗四-2 自製半圓珠加裝在不同位置對減少疊椅拉力的影響

5.5mm
深綠
半圓珠



討論

- 我們使用5.5mm的半圓珠，貼在不同位置。
- 椅腳連接片「中」的位置是關鍵位置，此處會有夾力，效果最佳。
- 而因為椅腳末端材質不是剛體，略有彈性，「夾力」反而增加了摩擦力，黏在下面的位置效果最差。



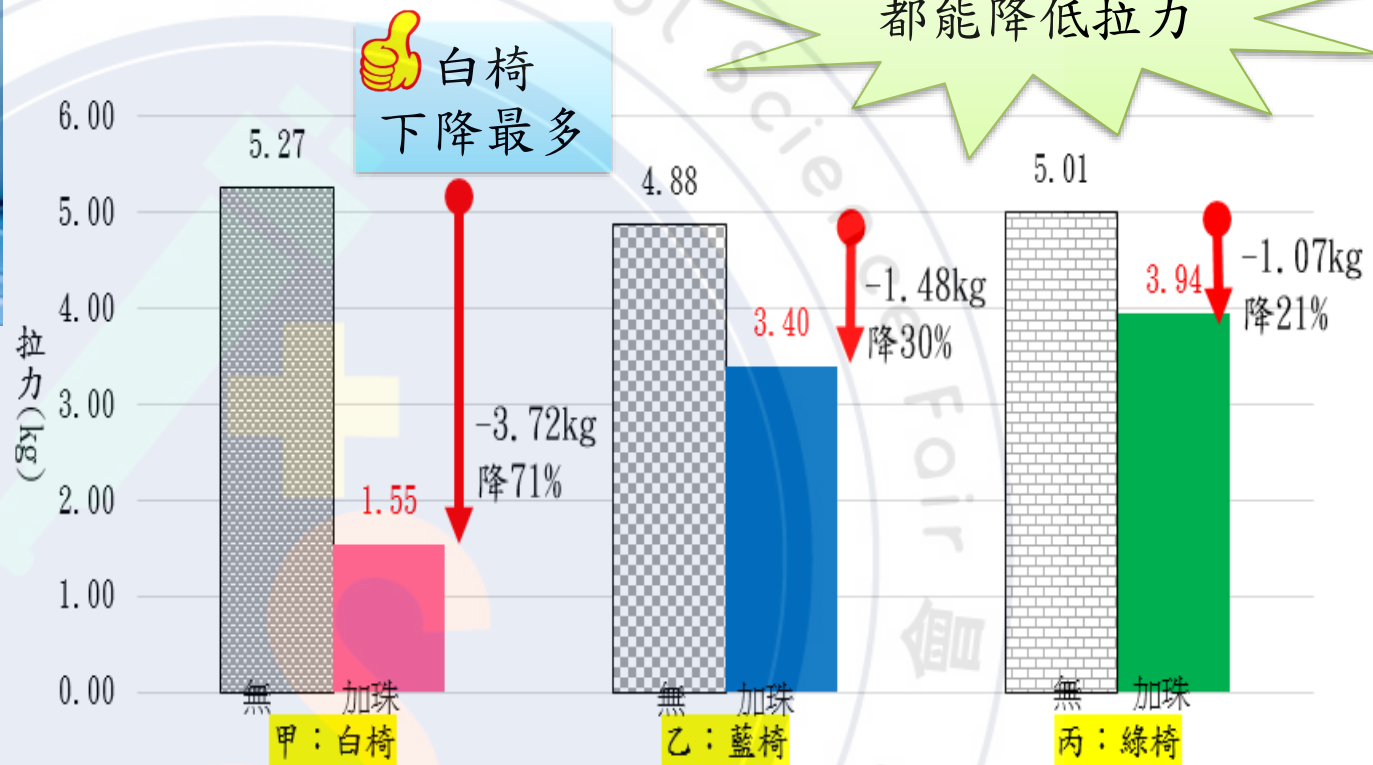
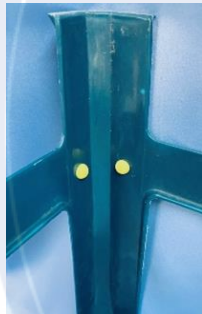
(三)實驗四-3 加裝半圓珠在不同款式椅子對減少疊椅拉力的影響



椅腳傾斜6°
白椅

4°
藍椅

4°
綠椅

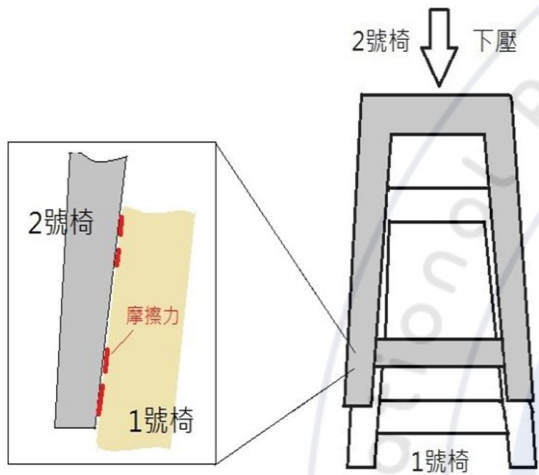


討論

- 加裝7mm黃珠在不同款式椅腳上，結果發現都能降低拉力，其中甲組白椅下降最多。
- 分析白椅降最多的原因：
 - (1) 塑膠片厚度三款椅子都是大約接近3mm，影響不大。
 - (2) 斜度：白椅椅腳較傾斜，藍椅與綠椅椅腳較陡直，加珠後較陡直的椅腳解除了連接片附近的卡緊程度，但還有其他接觸點易卡住。

六、疊椅的力學分析

(一)當2號椅疊在1號椅上面時

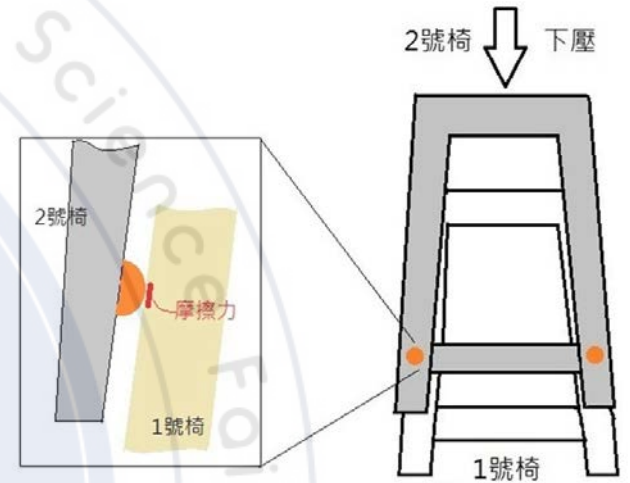


沒有半圓珠

- 腳距較小。
- 2號椅會壓得比較下面。
- 有多處與1號椅接觸。

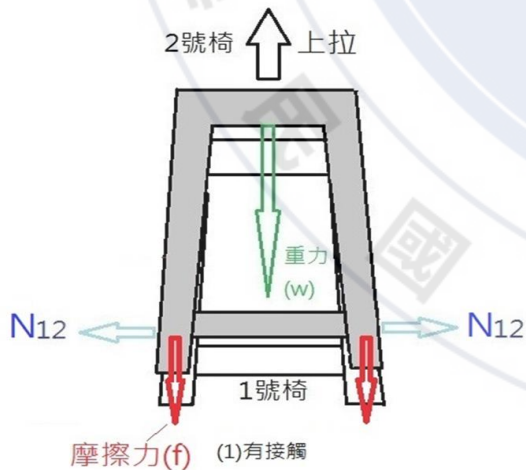
加裝半圓珠

- 腳距較大。
- 2號椅會疊在比較上面的位置。
- 接觸點較少。



(二)當2號椅往上拉時

所需最小拉力必須大於重力+摩擦力，才可以拉動2號椅。



- 外力 (F) = 重力 (W) + 摩擦力 (f)。
- 比較無、2cm魔鬼氈及厚度5.5mm的半圓珠，需要的最小拉力，並推估因為接觸後所產生的摩擦力。

魔鬼氈或半圓珠		平均拉力 (kg)	摩擦力 (kg) (f=F-w)
白椅 (W=0.71kg)	甲：無加裝	5.27	4.56
	乙：加2cm魔鬼氈	4.78	4.07
	丙：5.5mm厚度半圓珠	1.92	1.21

叁、結論

(一)研究一：分析疊椅卡住的原因

四支腳之間「椅腳連接片」相連會產生夾力，是卡得最緊的地方。

(二)研究二：椅腳加魔鬼氈的研究

黏貼2cm、5cm魔鬼氈降低拉力效果有限，其中以「椅腳連接片」位置降低效果稍佳。



(三)研究三：椅腳加裝市售半圓珠的研究

半圓珠厚度越厚，則腳距越大，疊椅拉力越小，厚度大於7.67mm以上，黏貼8珠，幾乎不卡了。



市售半圓珠

(四)研究四：椅腳加裝自製半圓珠的研究

1. 自製半圓珠厚度5.5mm~6.5mm，一般小朋友稍微出力就能拉開疊椅；厚度大於7mm，就完全不卡了。
2. 黏貼在關鍵位置「椅腳連接片」效果最佳。
3. 黏貼在不同款式椅腳上，都能降低拉力，其中以白椅下降最多。

3D列印
自製半圓珠



稍微出力👍

完全不卡了👍👍

本研究最主要的貢獻

要改善疊椅卡住的問題，有兩個面向：

- 其一，是針對已量產出來的椅子，建議椅腳加裝厚度大於7mm半圓珠，就完全不卡了。
- 其二，是從設計生產端改善，建議直接在椅腳內部設計凸面，請廠商直接開模成一體成型的塑膠椅，就能解決卡住的問題。

凸面設計
建議工廠直接開模

肆、參考資料

李瑞庚(2009)。一種疊不死式塑膠椅。大陸新型專利CN201542110U。
無作者(2021)。摩擦力。ZTA線上教育資源整合平台。