

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080117

化險為夷~五斗櫃傾倒因素之改良

學校名稱：高雄市三民區東光國民小學

作者：	指導老師：
小六 王苡蕎	陳清桔
小六 黃聖承	張綺砮
小六 唐湘詒	
小六 蕭愛一	
小六 曾苡涵	
小六 蔡承庭	

關鍵詞：五斗櫃、重心

摘要

本研究起因是在生活中出現五斗櫃翻覆的新聞提到重心問題，便透過文獻探討整理相關研究，發現重心與各領域均有關係，於是我們決定進行五斗櫃的探究，發現以下結果：

- 一、重心位置與櫃體深度有極大相關，當重心移出櫃體時有增加翻覆的危機，其中受拉力面越長越容易傾覆。
- 二、支撐腳與五斗櫃傾覆亦有極大相關，支撐腳高度、粗細、數量、形狀設計均影響五斗櫃的穩固性，當腳柱越短、與地面接觸面越大、數量越多可以增加更多拉力。
- 三、當櫃體底面積增加能有效降低五斗櫃傾倒的現象。

本研究更進一步改良五斗櫃的設計，使重心配置可以隨著層櫃的拖拉而降低，讓櫃體不至翻覆，期望對改善生活有更多的貢獻。

壹、研究動機

我們看到一則聳動的新聞，一名孩童在安全的住家中，竟被重達 32 公斤的五斗櫃壓死，據報導所說，知名賣場明知五斗櫃有傾覆的危險，卻仍未預先警告消費者必須將產品固定在牆壁才能使用。又曾在自然課聽老師介紹一款科學遊戲陀螺儀，提到重心問題引發我們做研究的興趣。

市面上的五斗櫃這麼多種消費者該如何選擇呢？我們改變各種方法探討五斗櫃的安全性，包含控制位置、五斗櫃尺寸、支撐腳等.....，最後希望能創作出一款安全又實用的五斗櫃，確保使用者的安全。

貳、研究目的

- 一、嘗試組裝五斗櫃並探討五斗櫃倒塌的原因。
- 二、探討五斗櫃拉動位置對穩固度的影響
- 三、分析五斗櫃尺寸對五斗櫃穩固度的影響
 - (一) 底面積(長、寬比例)
 - (二) 高度
- 四、探討支撐腳對五斗櫃穩固度的影響
 - (一) 支撐腳形狀
 - (二) 高度
 - (三) 數量
 - (四) 粗細
- 五、探討五斗櫃重心的改變對穩固度的影響。
- 六、創作安全不倒五斗櫃形式



參、研究設備及器材

- 一、材料、器具及設備

PP 板 厚度 0.5cm	積木 厚度 1cm	厚紙板 1000p	拉力計 最小單位：1g
			
利用 PP 板的進行不同大小尺寸的底板、層板、側板、背板的裁切及組裝。	利用積木進行不同大小面積的上層板組裝。	使用 1000p 的紙板製作五斗櫃的周遭四腳柱，並設計不同高度	運用拉力計扣住層板進行拉動五斗櫃觀測拉力計變化。

肆、研究過程或方法

一、文獻探討:

研究者在科展群傑廳等處蒐集相關研究，以關鍵詞「重心」共取得 11 篇資料，其中包含了物理 3 篇、自然 1 篇、數學 1 篇、地球科學 2 篇、生活與應用科學 3 篇、機械 1 篇，因此可見重心的研究觸及廣泛，很少進行生活安全的探究。

類別	篇名	年分	研究摘要
物理	魔力?摩力!----我的陀螺會倒立	1999	最後發現 陀螺的倒轉和其重心偏移的角度有關 。分析的結果顯示:陀螺重心偏下方，所以倒轉後，重心移到上面，會使重心到陀螺旋轉支點的連線與中心線的夾角角度變小，因此倒立的陀螺晃動會比較小，比較穩定;而陀螺正轉時， 因重心到支點的連線中心線的夾角角度較大，造成陀螺旋轉時的晃動也大
	背叛地心引力~尋找球往上滾的秘密	2009	本實驗的目的在尋找球往上滾的秘密，到底球為什麼能由低的地方往上滾？剛開始我們先利用木桿當軌道，分別改變軌道的形狀、粗細、材質、表面摩擦力，來找出讓球往上滾最容易成功的軌道；接著，我們試了各式各樣的球，並且探討了球的大小、重量、重量分布及重心位置對球往上滾的影響， 最後找出了球往上滾最容易成功的器材條件及人為條件 ，並建議可應用到教學、益智遊戲，或訓練手眼協調及復健之用。
	那些年，我們一起玩的ㄅㄨㄅㄨ車	2012	了解為何流線型車體和直線型車體的表面形狀會影響車子前進的遠近: 車體的表面之所以會影響車子的前進速度是由於車體的迎風面(有效面積)而阻礙滑行的距離產生空氣的摩擦力 。而本實驗在控制好各種變因之下，就單純流線型與直線型車體的比較不難發現， 趨於流線型的車子跑比較快 ，這就

			是為什麼市面上的車子以流線型居多。
自然	它抓得住我？ 一紋路對摩擦力的影響	2006	有紋路的輪胎在粗柏油、水泥路面等不平和平和凹凸路面上，由於有形變的情形，所以摩擦力較大，這是大家所認知的，但是在無明顯的形變情形下，相同的輪胎材質，有紋路和無紋路的輪胎，摩擦力是沒有很大的差異性；此外，在沒有形變的情形下，摩擦力和接觸面的大小沒大關係，有水時車胎和路面間的摩擦力會變小，而紋路方向對摩擦力的影響，以直線紋路的摩擦力較小。所以課本所提的無胎紋摩擦力會變小是有問題的。
數學	滿足 $\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i = 0$ 之M點是否為重心之研究	2003	發現:任意相鄰三頂點即可決定一平行n邊形。並進而證實:平行四邊形為四邊形M=G的充要條件。但當 $n \geq 5$ 時，平行n邊形只是n邊形M=G的充分非必要條件!一般而言，具有對稱中心O的n個點所構成的圖形必可使M與G重合於O點上。
地球科學	團結「核」作, 防震無間	2019	根據實驗結果，表現第一名的是厚正方形核心筒，加厚的構造使建築物的更加穩固而使建築物搖晃距離也最小。第二名的是不同核心筒數量，當使用兩個核心筒時，建築物確實會比較穩定。第三名則是正方形8支主支架的核心筒，當我們加強核心筒的結構時當然也會使核心筒更穩定，使建築物比較不會搖晃。
	Hold 得住嗎?~不同耐震補強方式對改善建築物穩固性的成效探討	2020	經實驗探究發現不同耐震補強方式都能改善建物的穩固性，通常補強樓層越多，耐震效果就越好。研究中補強效果較佳的方式是翼牆補強，其次是剪力牆補強與斜支撐補強方式。另外，發現擴柱和增設剪力牆補強方式，補強3層和補強4層效果差異不大，未來設計如有特殊考量，可在安全無虞下減少最高樓層的補強。也發現斜支撐補強可增加建物的穩固性，其中以W字形及具彈簧的V字形結構補強效果較佳。
生活與應用科學	小石子立大功--火車鐵軌的枕木愈搖愈穩固	2006	利用搖晃機、各種不同的豆子、大小不同的石子等進行實驗，結果發現搖晃後的豆豆和小石子變得更加緊密，彼此的稜角互相交錯卡住
	有趣的扭蛋-偏心機構的研究與應用	2007	(一)物體中空有重物(球)時，會彎曲滾動。(二)物體的滾動會受實心和空心的影響。(三)物體重心的位置改變會影響物體的滾動方式及路線，會偏向較重的一方滾動。(四)物體在旋轉時，會產生一股向外的離心力。
	天不搖，地不動—非牛頓流體在建築結構抗震之應	2011	自製地震模擬器的移動平台是用輪胎驅動，且加上抽屜滑軌使其能左右晃動，並用網路攝影機由上拍攝，觀測平台上紅點的路徑，判斷對建築的破壞程度。經由自製地震模擬器的實驗結果，得知麥芽糖的避震效果最佳，玉米粉液次之，可以做為未來在抗震設計時的參考與應用。
機械	自行車重心轉換裝置	2013	研究目的在設計出一種機構裝置，讓自行車騎士於騎行下坡路段時，能以線控方式迅速調整座墊向後下方平移以降低同時後移人車重心，藉以減低自行車因緊急煞車所造成之翻車危險。

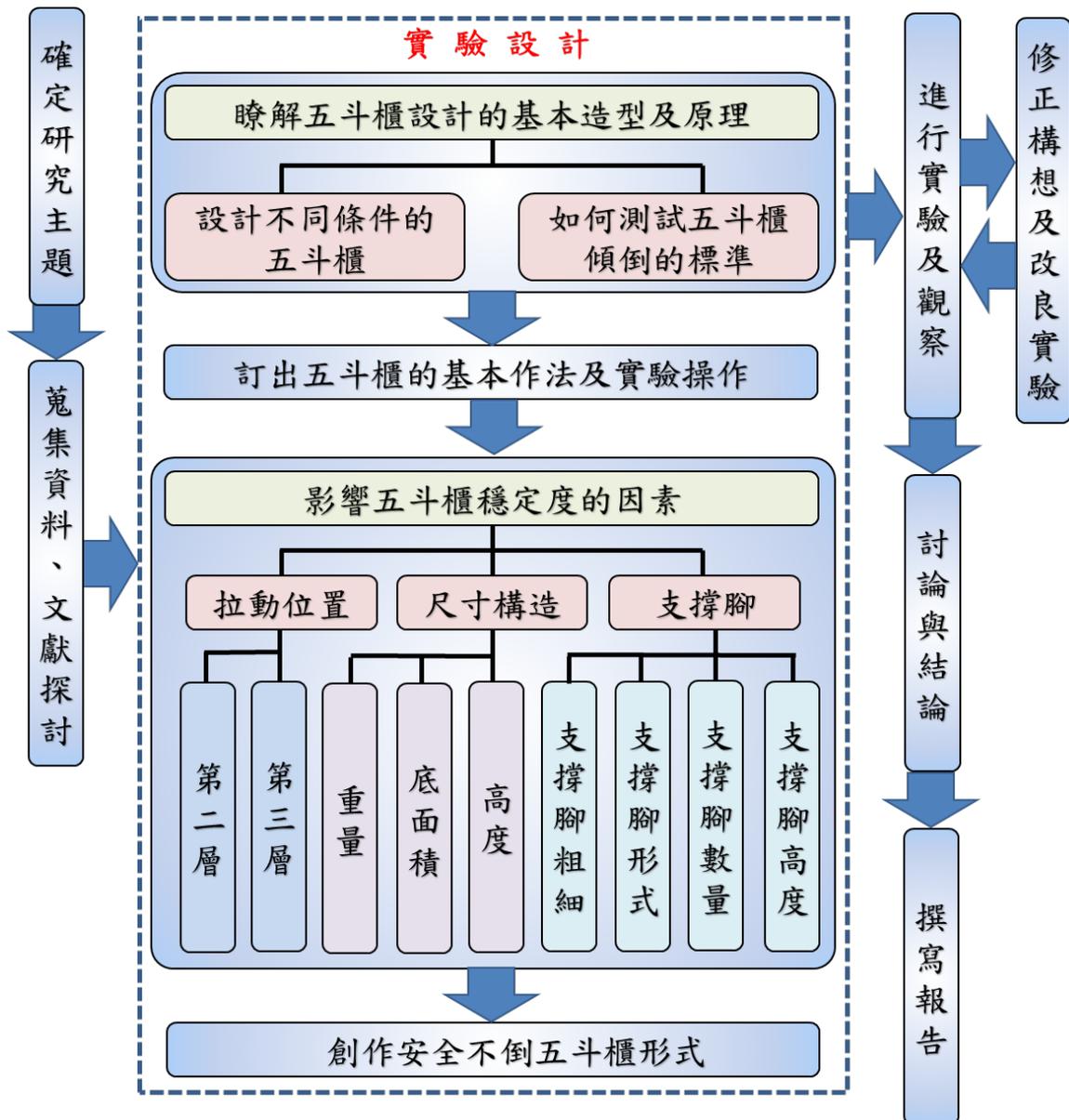
二、研究名詞

※重心：

物理上的重心，作為支點時能使各質點相對於該點的位置向量乘上各質點的重力之和（合力矩）為零。物理上的質心，物體的質量中心。**本研究探討重心改變對五斗櫃傾倒的影響。**

三、研究架構與流程

圖 3-1 五斗櫃傾倒因素研究架構圖



經過資料蒐集及研究討論後，決定研究流程為 1.確定研究主題、2.蒐集資料、文獻探討、3.實驗設計、4.進行實驗及觀察、5.修正構想及改良實驗、6.再次進行實驗及觀察、7.討論與結論、8.撰寫報告。

在實驗設計時，我們先了解五斗櫃的原理，並思考造成五斗櫃傾倒的因素，改變不同變因來進行五斗櫃的相關研究。

研究一、嘗試組裝五斗櫃並探討五斗櫃倒塌的原因



將結構組件組裝成不同層數（高度）、面積（面寬、面深）五斗櫃，並接上拉力計。



裝載負重物分為低、中、高層裝載，利用拉力計在不同層進行拉動，觀察傾倒情況。



將實驗過程利用照相進行紀錄，並輸入電腦以 Excel 進行計算。



分析不同層載重傾倒情形、設計不同柱腳避免傾倒狀況。

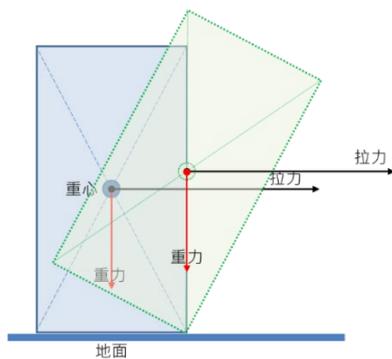


表 1-1-1 坊間常見五斗櫃形式及尺寸

形式	四層			五層		
材質	白橡木	淺橡木、柚木	塑合板、PVC	塑合板	灰橡	木心板
長	90	80	80	77	91	78
寬	40	40.5	40	50	50	40
高	95	86	89.5	111	121	116
重量	53kg	33kg	-	42kg	-	47kg
體積/重量	0.155	0.118	-	0.098	-	0.130
照片/截圖						

單位:公分；公斤 資料來源：PChome、YAHOO 購物商場

圖 1-1-1 五斗櫃倒塌原理：



在平面時，因物體受外力作用而略微傾斜時，通過重心之鉛垂線落於底面積之範圍內，物受到重力之力矩作用仍可恢復原狀；但是通過**重心之鉛垂線超出底面積之範圍時，物體即傾倒。**

我們以此原理設計實驗內容，並討論結構化實驗組件。

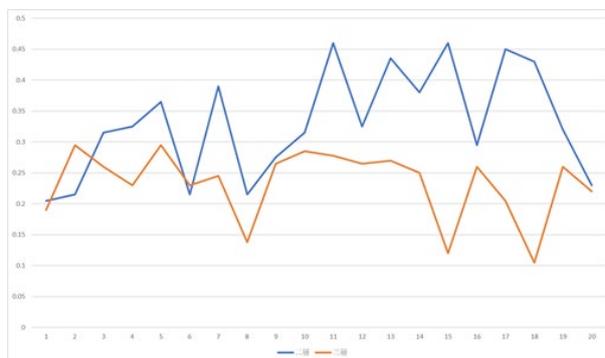
實驗 1-1 不同拉動位置對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

- 1.利用電烙鐵在 PP 製層板長邊中點距離邊緣 0.5cm 處鑽一個洞。
- 2.將拉力計掛勾掛於層板孔洞處。
- 3.將拉力計歸零，並平行拉動拉力計，觀察拉力計數值變化，在物體傾倒瞬間記錄數值。
- 4.將數值紀錄 20 次並計算平均值及差距。

表 1-1-2 不同層數(高度)影響五斗櫃傾倒之情形

	二層	三層	二層	三層	
1	0.205	0.19	11	0.46	0.278
2	0.215	0.295	12	0.325	0.265
3	0.315	0.26	13	0.435	0.27
4	0.325	0.23	14	0.38	0.25
5	0.365	0.295	15	0.46	0.12
6	0.215	0.23	16	0.295	0.26
7	0.39	0.245	17	0.45	0.205
8	0.215	0.138	18	0.43	0.105
9	0.275	0.265	19	0.32	0.26
10	0.315	0.285	20	0.23	0.22
	平均	0.331	0.2333	單位：kg/cm ²	



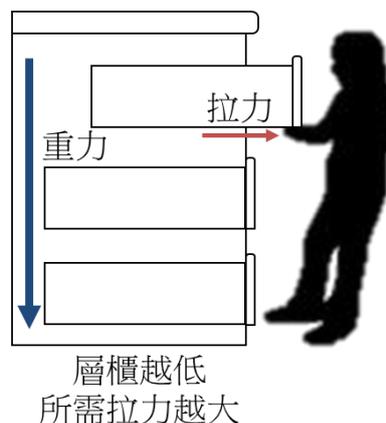
結果說明：

1.根據表 1-1-2 的研究分析：

- (1) 第二層拉動數據平均為 0.331kg/cm²，所測得數據介於 0.205 kg/cm²~0.46 kg/cm²。
- (2) 第三層拉動數據平均為 0.2333kg/cm²，所測得數據介於 0.12 kg/cm²~0.295 kg/cm²
- (3) 第二層的與第三層的拉力差距約為 0.1 kg/cm²，其中拉力差距有 7 次重疊，由圖 1-1 可見。
- (4) 第二層最大所需拉力為 0.46 kg/cm²，第三層最小所需拉力為 0.12 kg/cm²，兩者差距為 0.34 kg/cm²。

2.依據實驗 1-1，結果說明：

由上分析可以得知，要讓五斗櫃傾倒，從**第二層拉動需要的拉力比第三層多**，因此我們可以說明**拉動越低層所需要的拉力越大，五斗櫃越不容易倒**（如右圖所示）。



研究二、分析五斗櫃尺寸對五斗櫃穩固度的影響

實驗 2-1 探討不同底面積對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 利用積木拼組不同底面積，並組裝成五斗櫃模型。
2. 利用電烙鐵在 PP 製層板長邊中點距離邊緣 0.5cm 處鑽一個洞。
3. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處。
4. 將拉力計歸零，並平行拉動拉力計，觀察拉力計數值變化，在物體傾倒瞬間紀錄數值。將數值紀錄 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。

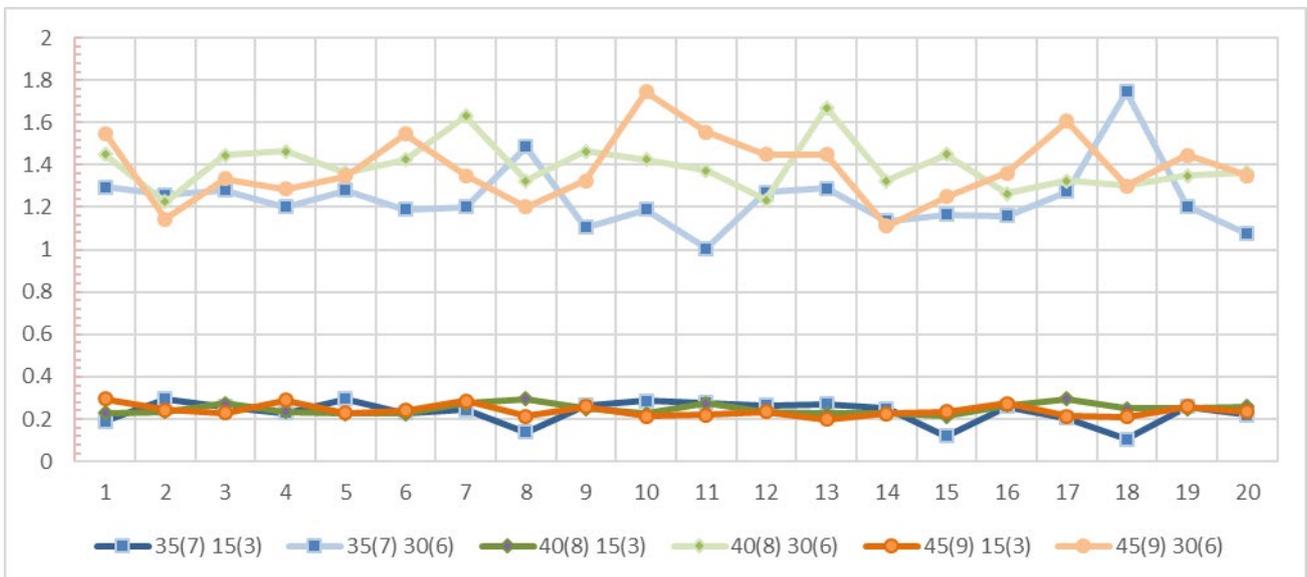
表 2-1-1 探討不同底面積對五斗櫃穩固度的影響

底面積 長寬比	長 35cm(7)		長 40(8)		長 45(9)	
	寬 15cm(3)	寬 30cm(6)	寬 15cm(3)	寬 30cm(6)	寬 15cm(3)	寬 30cm(6)
1	0.19	1.296	0.228	1.45	0.295	1.55
2	0.295	1.260	0.235	1.225	0.245	1.145
3	0.26	1.280	0.275	1.445	0.23	1.335
4	0.23	1.200	0.235	1.465	0.29	1.285
5	0.295	1.280	0.225	1.365	0.23	1.345
6	0.23	1.190	0.225	1.425	0.24	1.545
7	0.245	1.200	0.275	1.63	0.285	1.35
8	0.138	1.485	0.295	1.325	0.215	1.2
9	0.265	1.105	0.25	1.465	0.26	1.325
10	0.285	1.190	0.225	1.425	0.215	1.745
11	0.278	1.005	0.275	1.375	0.22	1.555
12	0.265	1.270	0.235	1.235	0.235	1.45
13	0.27	1.290	0.225	1.67	0.2	1.45
14	0.25	1.135	0.225	1.325	0.225	1.11
15	0.12	1.165	0.215	1.45	0.235	1.25
16	0.26	1.160	0.265	1.265	0.275	1.36
17	0.205	1.275	0.295	1.325	0.215	1.605
18	0.105	1.746	0.25	1.3	0.21	1.3
19	0.26	1.205	0.25	1.35	0.26	1.445
20	0.22	1.075	0.26	1.365	0.235	1.35
平均	0.2333	1.2406	0.2482	1.3940	0.2408	1.3850
標準差	0.0532	0.1481	0.0236	0.1092	0.0266	0.1520
2 倍標準差	0.1064	0.2962	0.0472	0.2184	0.0532	0.3041
範圍最大值	0.3397	1.5368	0.2953	1.6124	0.2940	1.6891
範圍最小值	0.1269	0.9444	0.2010	1.1756	0.1875	1.0809
剔除後平均	0.2467	1.2140	0.2311	1.3656	0.2247	1.3661

單位：kg/cm²

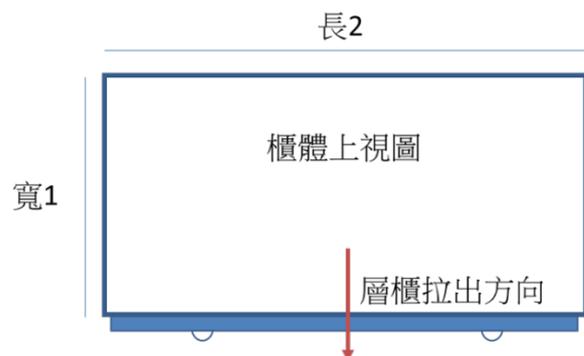
實驗 2-1 結果分析：

- 1.由上表可以得知當底面積長寬比為 7:3 平均拉力為 0.2467 kg/cm^2 ，介於 $0.19 \sim 20.295 \text{ kg/cm}^2$ 、7:6 平均拉力為 1.2140 kg/cm^2 ，介於 $1.005 \sim 1.485 \text{ kg/cm}^2$ 。
- 2.由上表可以得知當底面積長寬比為 8:3 平均拉力為 0.2311 kg/cm^2 ，介於 $0.215 \sim 0.295 \text{ kg/cm}^2$ 、8:6 平均拉力為 1.3656 kg/cm^2 ，介於 $1.225 \sim 1.465 \text{ kg/cm}^2$ 。
- 3.由上表可以得知當底面積長寬比為 9:3 平均拉力為 0.2247 kg/cm^2 ，介於 $0.21 \sim 0.295 \text{ kg/cm}^2$ 、9:6 平均拉力為 1.3661 kg/cm^2 ，介於 $1.11 \sim 1.745 \text{ kg/cm}^2$ 。
- 4.所以當五斗櫃同寬(3)、不同長時則可以得知， $9:3 < 8:3 < 7:3$ ；可以證明當長度越長所需拉力越小，越不穩固；底面積拉力大小依序為 $7:6 < 8:6 < 9:6$ 卻呈現相反情形。
- 5.圖 2-1-1 探討不同表面積對五斗櫃穩固度的影響



2-1 結果說明：

- 1.由上表分析可知，各種底面積長寬比的五斗櫃穩固度由大到小為：（比值）
 寬度為 6 時， $6:9(0.67) > 6:8(0.75) > 6:7(0.86)$
 寬度為 3 時， $3:7(0.42) > 3:8(0.38) > 3:9(0.33)$ 。
- 2.因此得證，在不同底面積時，當長邊增加至為短邊的兩倍以上時，會使五斗櫃越不穩固，而以長寬比接近 2:1（寬與長比值接近 0.5）為最佳（如右圖所示）。



實驗 2-2 探討不同高度對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 利用積木拼組不同高度，並組裝成五斗櫃模型。
2. 利用電烙鐵在 PP 製層板長邊中點距離邊緣 0.5cm 處鑽一個洞。
3. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處。
4. 將拉力計歸零，並平行拉動拉力計，觀察拉力計數值變化，在物體傾倒瞬間紀錄數值。將數值紀錄 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。

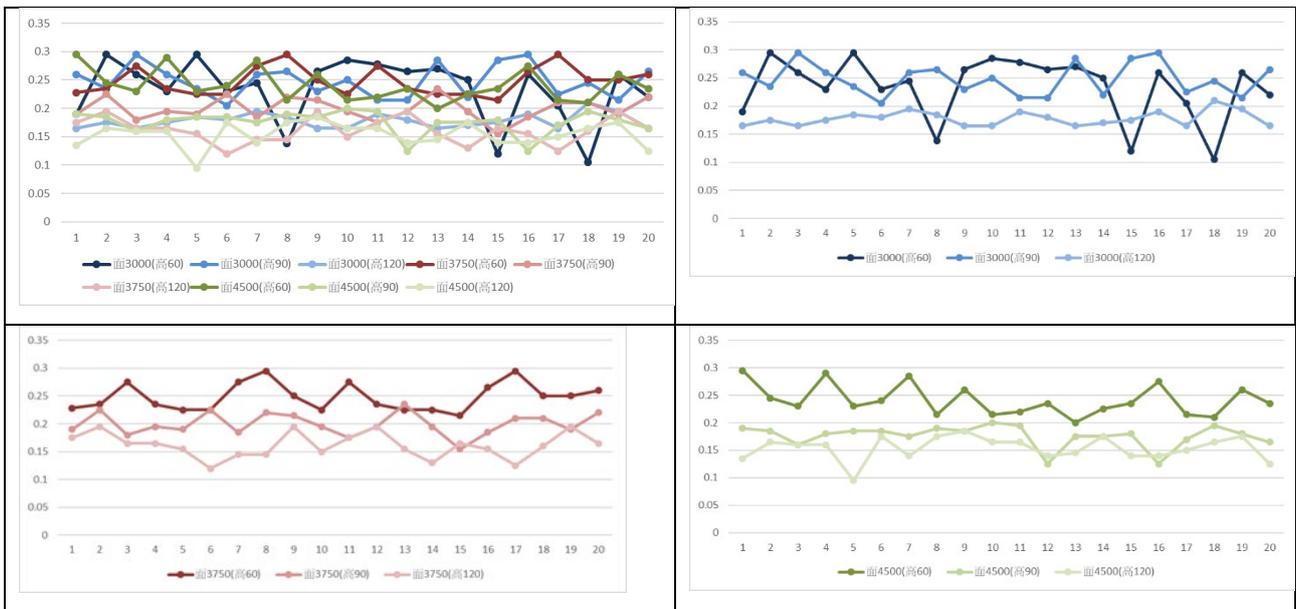
表 2-2-1 探討不同高度對五斗櫃穩固度的影響

底面積 高度比	525cm ² (長 7: 寬 3)			600 cm ² (長 8: 寬 3)			675 cm ² (長 9: 寬 3)		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
1	0.19	0.26	0.165	0.228	0.19	0.175	0.295	0.19	0.135
2	0.295	0.235	0.175	0.235	0.225	0.195	0.245	0.185	0.165
3	0.26	0.295	0.165	0.275	0.18	0.165	0.23	0.16	0.16
4	0.23	0.26	0.175	0.235	0.195	0.165	0.29	0.18	0.16
5	0.295	0.235	0.185	0.225	0.19	0.155	0.23	0.185	0.095
6	0.23	0.205	0.18	0.225	0.225	0.12	0.24	0.185	0.175
7	0.245	0.26	0.195	0.275	0.185	0.145	0.285	0.175	0.14
8	0.138	0.265	0.185	0.295	0.22	0.145	0.215	0.19	0.175
9	0.265	0.23	0.165	0.25	0.215	0.195	0.26	0.185	0.185
10	0.285	0.25	0.165	0.225	0.195	0.15	0.215	0.2	0.165
11	0.278	0.215	0.19	0.275	0.175	0.175	0.22	0.195	0.165
12	0.265	0.215	0.18	0.235	0.195	0.195	0.235	0.125	0.14
13	0.27	0.285	0.165	0.225	0.235	0.155	0.2	0.175	0.145
14	0.25	0.22	0.17	0.225	0.195	0.13	0.225	0.175	0.175
15	0.12	0.285	0.175	0.215	0.155	0.165	0.235	0.18	0.14
16	0.26	0.295	0.19	0.265	0.185	0.155	0.275	0.125	0.14
17	0.205	0.225	0.165	0.295	0.21	0.125	0.215	0.17	0.15
18	0.105	0.245	0.21	0.25	0.21	0.16	0.21	0.195	0.165
19	0.26	0.215	0.195	0.25	0.19	0.195	0.26	0.18	0.175
20	0.22	0.265	0.165	0.26	0.22	0.165	0.235	0.165	0.125
平均	0.2333	0.2480	0.1780	0.2482	0.1995	0.1615	0.2408	0.1760	0.1538
標準差	0.0532	0.0270	0.0125	0.0236	0.0190	0.0216	0.0266	0.0191	0.0205
2 倍標準差	0.1064	0.0539	0.0250	0.0472	0.0380	0.0431	0.0532	0.0382	0.0410
範圍最大值	0.3397	0.3019	0.2030	0.2953	0.2375	0.2046	0.2940	0.2142	0.1948
範圍最小值	0.1269	0.1941	0.1530	0.2010	0.1615	0.1184	0.1875	0.1378	0.1127
剔除後平均	0.2467	0.2314	0.1763	0.2311	0.2018	0.1613	0.2247	0.1817	0.1568

單位：kg/cm²

實驗 2-2 結果分析：

1. 由上表可以得知當底面積為 525cm^2 高度 60cm 平均拉力為 0.2467 kg/cm^2 ，介於 $0.19\sim 0.295\text{ kg/cm}^2$ 、高度 90cm 平均拉力為 0.2314 kg/cm^2 ，介於 $0.215\sim 0.295\text{ kg/cm}^2$ 、高度 120cm 平均拉力為 0.1763 kg/cm^2 ，介於 $0.165\sim 0.195\text{ kg/cm}^2$ 。
2. 由上表可以得知當底面積為 600cm^2 高度 60cm 平均拉力為 0.2311 kg/cm^2 ，介於 $0.215\sim 0.295\text{ kg/cm}^2$ 、高度 90cm 平均拉力為 0.2018 kg/cm^2 ，介於 $0.175\sim 0.235\text{ kg/cm}^2$ 、高度 120cm 平均拉力為 0.1613 kg/cm^2 ，介於 $0.12\sim 0.195\text{ kg/cm}^2$ 。
3. 由上表可以得知當底面積為 675cm^2 高度 60cm 平均拉力為 0.2247 kg/cm^2 ，介於 $0.21\sim 0.285\text{ kg/cm}^2$ 、高度 90cm 平均拉力為 0.1817 kg/cm^2 ，介於 $0.16\sim 0.195\text{ kg/cm}^2$ 、高度 120cm 平均拉力為 0.1568 kg/cm^2 ，介於 $0.125\sim 0.175\text{ kg/cm}^2$ 。
4. 由高度比得知底面積為 575cm^2 、 600 cm^2 、 675 cm^2 時， $120\text{cm} < 90\text{cm} < 60\text{cm}$ 。
5. 圖 2-2-1 探討不同高度對五斗櫃穩固度的影響



實驗 2-2 結果說明：

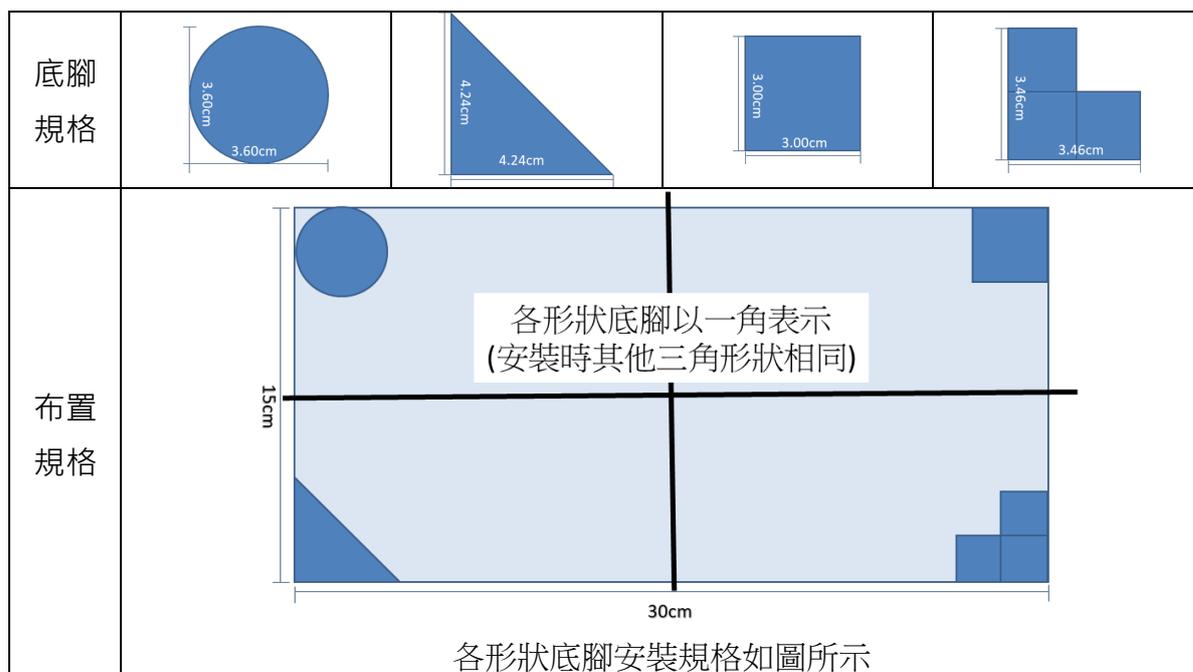
相同底面積時，五斗櫃高度越高越不穩固。

研究三、探討支撐腳對五斗櫃穩固度的影響

實驗 3-1 探討不同支撐腳形狀對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 使用 PP 板面積同為 9 圓形柱、等腰直角三角形柱、正方柱、L 形柱，讓它們形成一個厚度有 1 公分底腳，並使用泡棉膠將製作好的底腳黏在與五斗櫃相同大小的底板上。



2. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處，將拉力計歸零後平移拉動以觀察拉力計數值變化。
3. 紀錄物體在傾倒時數值，並將連續拉動 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。

表 3-1-1 探討不同支撐腳形狀(1cm)對五斗櫃穩固度的影響

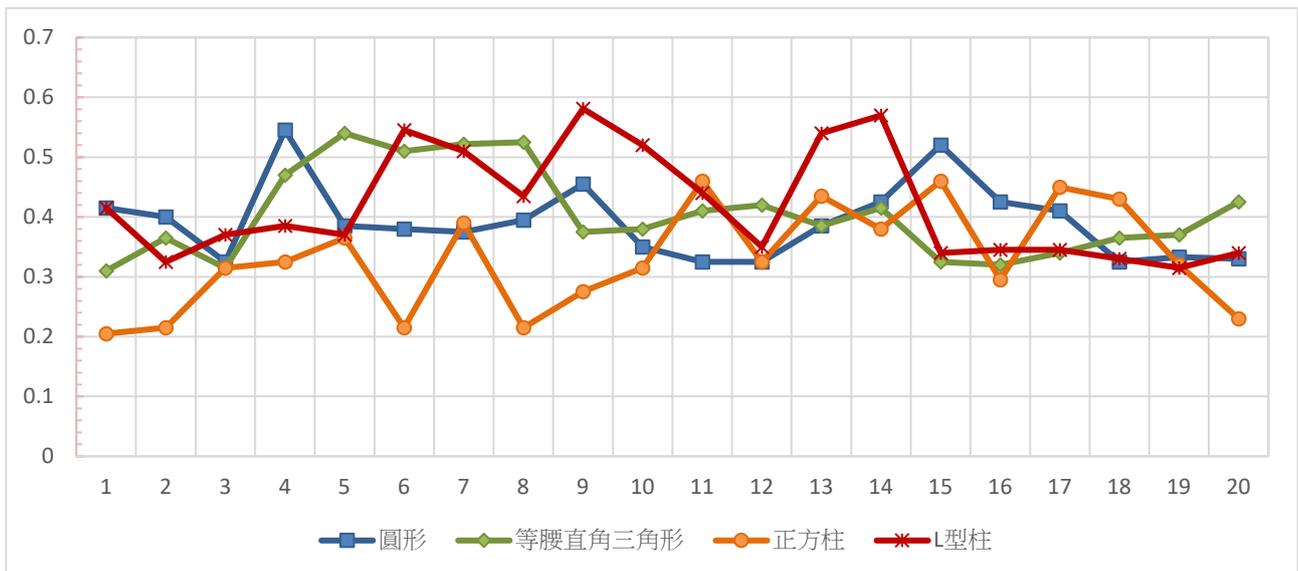
柱腳底面形狀	圓形	等腰直角三角形	正方柱	L 型柱
1	0.415	0.31	0.205	0.415
2	0.4	0.365	0.215	0.325
3	0.325	0.315	0.315	0.37
4	0.545	0.47	0.325	0.385
5	0.385	0.54	0.365	0.37
6	0.38	0.51	0.215	0.545
7	0.375	0.522	0.39	0.51
8	0.395	0.525	0.215	0.435
9	0.455	0.375	0.275	0.581
10	0.35	0.38	0.315	0.52
11	0.325	0.41	0.46	0.44
12	0.325	0.42	0.325	0.35
13	0.385	0.385	0.435	0.54

14	0.425	0.415	0.38	0.57
15	0.52	0.325	0.46	0.34
16	0.425	0.32	0.295	0.345
17	0.41	0.34	0.45	0.345
18	0.325	0.365	0.43	0.33
19	0.333	0.37	0.32	0.315
20	0.33	0.425	0.23	0.34
平均	0.3914	0.4044	0.3310	0.4186
標準差	0.0595	0.0702	0.0323	0.0874
2 倍標準差	0.1191	0.1405	0.0645	0.1748
範圍最大值	0.5105	0.5445	0.4227	0.5928
範圍最小值	0.2723	0.2635	0.2937	0.2432
剔除後平均	0.3757	0.4044	0.3310	0.4186

單位：kg/cm²

實驗 3-1 結果分析：

- 1.由表 3-1-1 可以得知平均拉力是：L 型柱(0.4186 kg/cm²) > 等腰直角三角形柱(0.4044 kg/cm²) > 圓形柱(0.3757 kg/cm²) > 正方柱(0.3310kg/cm²)。
- 2.圖 3-1-1 探討不同支撐腳形式(1cm)對五斗櫃穩固度的影響



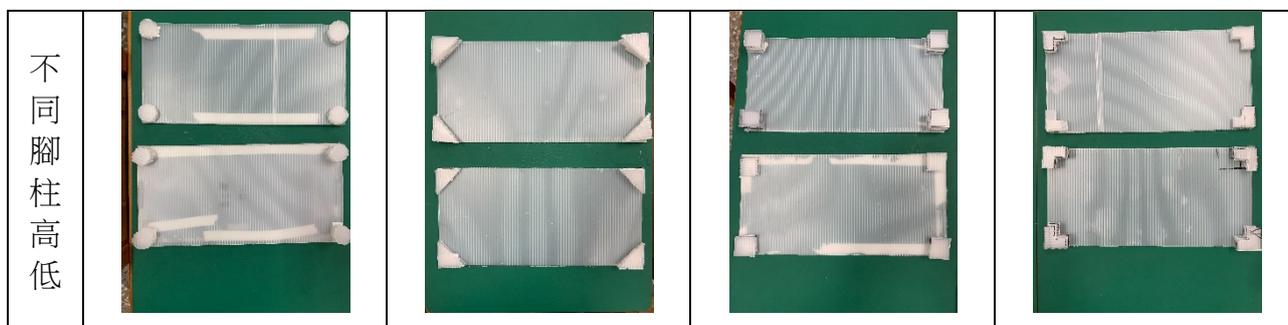
實驗 3-1 結果說明：

- 1.由上表分析可知，當面積相同時，拉動 L 形柱腳傾倒所需的拉力最多，所以 L 形柱的櫃子最為穩固；拉動正方柱傾倒所需的拉力最小，所以正方形支撐腳的櫃子最不穩固。
- 2.因此各種支撐腳穩固度由大到小為：L 形柱 > 等腰直角三角形 > 圓形柱 > 正方形柱。

實驗 3-2 探討支撐腳高度對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 使用 PP 板分別割出圓形柱、等腰直角三角形柱、正方柱、L 形柱，讓它們形成一個厚度有 2 公分底腳，並使用泡棉膠將製作好的底腳黏在與五斗櫃相同大小的底板上。
(規格同實驗 3-1)



2. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處，將拉力計歸零後平移拉動以觀察拉力計數值變化。
3. 紀錄物體在傾倒時數值，並將連續拉動 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。
4. 改變不同支撐腳高度重複前面實驗進行之。

表 3-2-1 探討不同支撐腳高度(2cm)對五斗櫃穩固度的影響

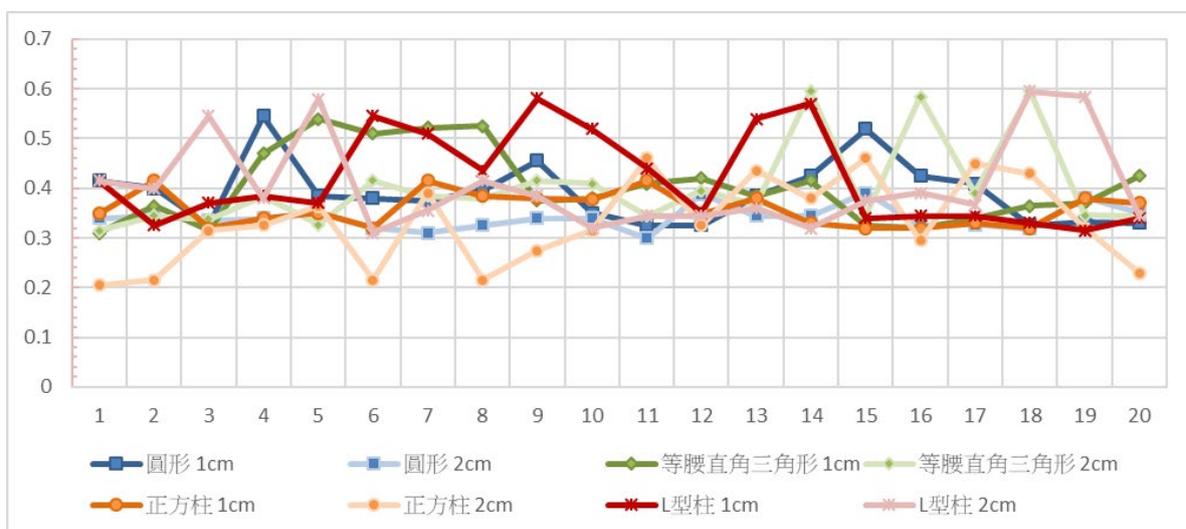
柱腳底 面形狀	圓形		等腰直角三角形		正方柱		L 型柱	
	1cm	2cm	1cm	2cm	1cm	2cm	1cm	2cm
1	0.415	0.34	0.31	0.315	0.349	0.205	0.415	0.415
2	0.4	0.345	0.365	0.345	0.415	0.215	0.325	0.399
3	0.325	0.335	0.315	0.337	0.32	0.315	0.37	0.545
4	0.545	0.34	0.47	0.385	0.34	0.325	0.385	0.38
5	0.385	0.35	0.54	0.327	0.35	0.365	0.37	0.58
6	0.38	0.32	0.51	0.415	0.32	0.215	0.545	0.31
7	0.375	0.31	0.522	0.385	0.415	0.39	0.51	0.355
8	0.395	0.325	0.525	0.38	0.385	0.215	0.435	0.415
9	0.455	0.34	0.375	0.415	0.38	0.275	0.581	0.385
10	0.35	0.34	0.38	0.41	0.377	0.315	0.52	0.32
11	0.325	0.3	0.41	0.345	0.415	0.46	0.44	0.345
12	0.325	0.388	0.42	0.395	0.349	0.325	0.35	0.345
13	0.385	0.345	0.385	0.367	0.38	0.435	0.54	0.36
14	0.425	0.344	0.415	0.595	0.33	0.38	0.57	0.32
15	0.52	0.391	0.325	0.346	0.32	0.46	0.34	0.375
16	0.425	0.325	0.32	0.585	0.319	0.295	0.345	0.39
17	0.41	0.327	0.34	0.39	0.33	0.45	0.345	0.367
18	0.325	0.318	0.365	0.595	0.32	0.43	0.33	0.595
19	0.333	0.381	0.37	0.346	0.38	0.32	0.315	0.585
20	0.33	0.35	0.425	0.345	0.37	0.23	0.34	0.346
平均	0.3914	0.3407	0.4044	0.4012	0.3582	0.3310	0.4186	0.4066
標準差	0.0595	0.0228	0.0702	0.0829	0.0323	0.0836	0.0874	0.0876

2 倍標準差	0.1191	0.0455	0.1405	0.1658	0.0645	0.1671	0.1748	0.1752
範圍最大值	0.5105	0.3862	0.5448	0.5669	0.4227	0.4981	0.5934	0.5818
範圍最小值	0.2723	0.2952	0.2639	0.2354	0.2937	0.1639	0.2437	0.2314
剔除後平均	0.3757	0.3353	0.4044	0.3675	0.3582	0.3310	0.4186	0.3862

單位：kg/cm²

實驗 3-2 結果分析：

1. 由表 3-2-1 可以得知 1cm 柱高平均拉力是：**L 形柱(0.4186kg/cm²) > 等腰直角三角形柱(0.4044kg/cm²) > 圓形柱(0.3757 kg/cm²) > 正方柱(0.3582kg/cm²)。**
2. 由表 3-2-1 可以得知 2cm 柱高平均拉力是：L 形柱(0.3862kg/cm²) > 等腰直角三角形柱(0.3675kg/cm²) > 圓形柱(0.3353 kg/cm²) > 正方柱(0.3310kg/cm²)
3. 圓形柱：1cm 拉力介於 0.2723kg/cm²~0.5105kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3757kg/cm²；2cm 拉力介於 0.2952kg/cm²~0.3862kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3353kg/cm²，由此可知 1cm 傾倒所需拉力比 2cm 大，穩固度越好。
4. 等腰直角三角形柱：1cm 拉力介於 0.2639kg/cm²~0.5448kg/cm² 之間，平均拉力為 0.4044 kg/cm²；2cm 拉力介於 0.2354kg/cm²~0.5669kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3675kg/cm²，由此可知 1cm 傾倒所需拉力比 2cm 大，穩固度越好。
5. 正方柱：1cm 拉力介於 0.2937kg/cm²~0.4227kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3582kg/cm²；2cm 拉力介於 0.1639kg/cm²~0.4981kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3310kg/cm²，由此可知 1cm 傾倒所需拉力比 2cm 大，穩固度越好。
6. L 型柱：1cm 拉力介於 0.2437kg/cm²~0.5934kg/cm² 之間，平均拉力為 0.4186kg/cm²；2cm 拉力介於 0.2314kg/cm²~0.5818kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3862kg/cm²，由此可知支撐腳 **1cm 傾倒所需拉力比 2cm 大，穩固度越好。**
7. 圖 3-2-1 探討支撐腳高度對五斗櫃穩固度的影響



實驗 3-2 結果說明：

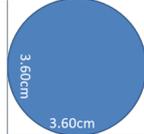
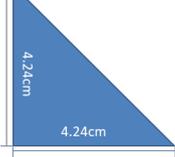
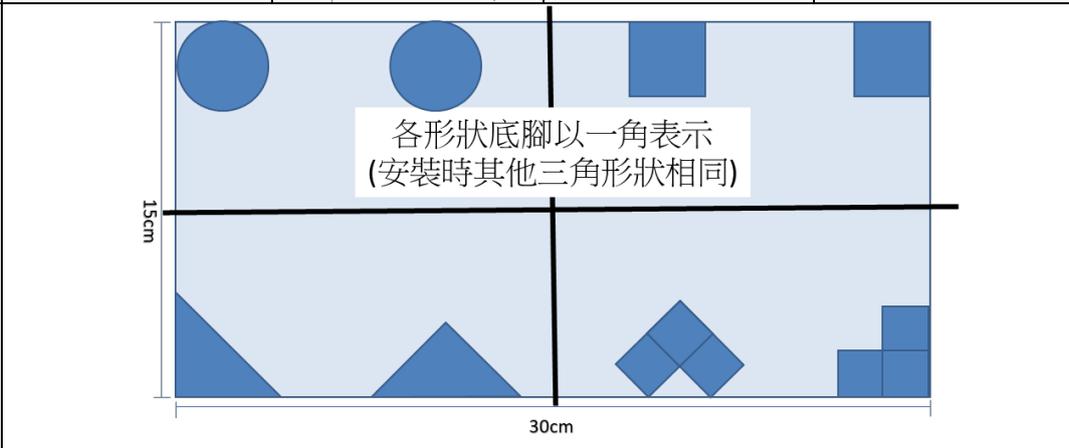
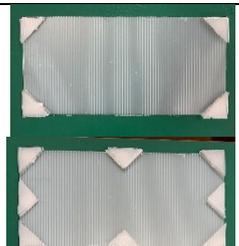
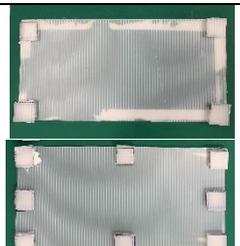
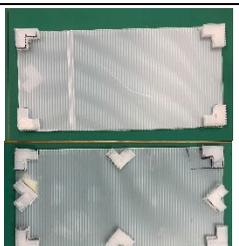
- 1.由上表分析可知，拉動 1cm 柱腳傾倒的所需拉力比 2cm 大，因此**柱腳越低的櫃子越穩固**。
- 2.拉動等 L 形柱傾倒所需的拉力最多，所以**L 形柱的櫃子最為穩固**；拉動正方柱傾倒所需的拉力最小，所以**正方形支撐腳的櫃子最不穩固**。

延續研究 3-2，我們可以發現腳柱越低越穩固，因此我們接著以腳柱 1cm 作為模型進行實驗 3-3 增加腳柱的影響。

實驗 3-3 探討不同支撐腳數量對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 使用 PP 板分別割出圓形柱、等腰直角三角形柱、正方柱、L 形柱，讓它們形成一個厚度有 1 公分底腳，並使用泡棉膠將 8 個底腳黏在與五斗櫃相同大小的底板上。

底腳規格				
布置規格	 <p>各形狀底腳以一角表示 (安裝時其他三角形狀相同)</p>			
不同腳柱數量				

- 2.將拉力計掛勾掛於層板孔洞處，將拉力計歸零後平移拉動以觀察拉力計數值變化。
- 3.紀錄物體在傾倒時數值，並將連續拉動 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。
- 4.改變不同支撐腳數量重複前面實驗進行之。

表 3-3-1 探討不同支撐腳數量(8 支柱腳)對五斗櫃穩固度的影響

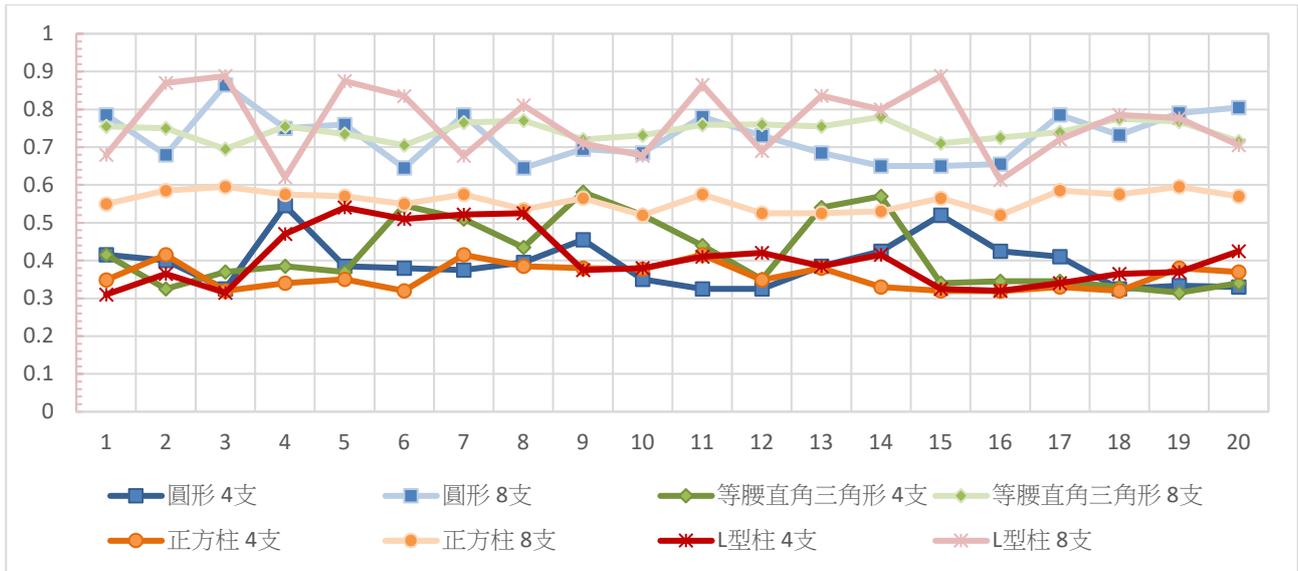
柱腳底 面形狀	圓形		等腰直角三角形		正方柱		L 型柱	
	4 支	8 支	4 支	8 支	4 支	8 支	4 支	8 支
1	0.415	0.785	0.415	0.755	0.349	0.55	0.31	0.68
2	0.4	0.68	0.325	0.75	0.415	0.585	0.365	0.87
3	0.325	0.865	0.37	0.695	0.32	0.595	0.315	0.888
4	0.545	0.75	0.385	0.755	0.34	0.575	0.47	0.62
5	0.385	0.76	0.37	0.735	0.35	0.57	0.54	0.875
6	0.38	0.645	0.445	0.705	0.32	0.55	0.51	0.835
7	0.375	0.785	0.51	0.765	0.415	0.575	0.522	0.677
8	0.395	0.645	0.435	0.77	0.385	0.535	0.525	0.811
9	0.455	0.695	0.481	0.72	0.38	0.565	0.375	0.71
10	0.35	0.685	0.52	0.731	0.377	0.52	0.38	0.677
11	0.325	0.78	0.44	0.759	0.415	0.575	0.41	0.865
12	0.325	0.73	0.35	0.76	0.349	0.525	0.42	0.69
13	0.385	0.685	0.44	0.755	0.38	0.525	0.385	0.836
14	0.425	0.65	0.47	0.78	0.33	0.53	0.415	0.8
15	0.52	0.65	0.34	0.71	0.32	0.565	0.325	0.888
16	0.425	0.655	0.345	0.725	0.319	0.52	0.32	0.613
17	0.41	0.785	0.345	0.74	0.33	0.585	0.34	0.72
18	0.325	0.732	0.33	0.775	0.32	0.575	0.365	0.785
19	0.333	0.79	0.315	0.768	0.38	0.595	0.37	0.777
20	0.33	0.805	0.34	0.715	0.37	0.57	0.425	0.705
平均	0.3914	0.7279	0.3986	0.7434	0.3582	0.5593	0.4044	0.7661
標準差	0.0595	0.0621	0.0618	0.0238	0.0323	0.0241	0.0702	0.0868
2 倍標準差	0.1191	0.1241	0.1235	0.0477	0.0645	0.0482	0.1405	0.1736
範圍最大值	0.5105	0.8520	0.5221	0.7911	0.4227	0.6075	0.5448	0.9397
範圍最小值	0.2723	0.6037	0.2750	0.6957	0.2937	0.5110	0.2639	0.5925
剔除後平均	0.3757	0.7206	0.3986	0.7459	0.3582	0.5593	0.4044	0.7661

單位：kg/cm²

實驗 3-3 結果分析：

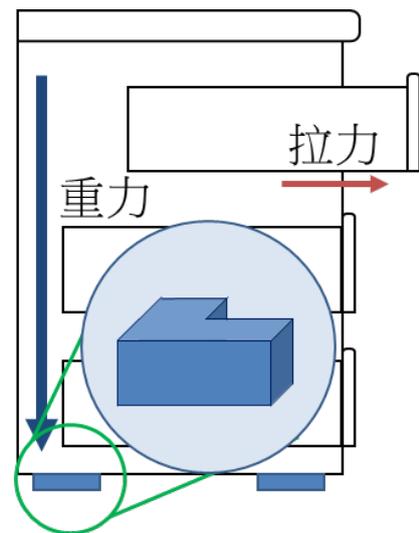
1. 由表 3-3-1 可以得知 4 支柱腳平均拉力是：L 形柱(0.4044kg/cm²) > 等腰直角三角形柱(0.3986kg/cm²) > 圓形柱(0.3757 kg/cm²) > 正方柱(0.3582kg/cm²)
2. 由表 3-3-1 可以得知 8 支柱腳平均拉力是：L 形柱(0.7661kg/cm²) > 等腰直角三角形柱(0.7459kg/cm²) > 圓形柱(0.7206 kg/cm²) > 正方柱(0.5593kg/cm²)
3. 圓形柱：4 支柱腳拉力介於 0.2723kg/cm²~0.5105 kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3757 kg/cm²；8 支柱腳拉力介於 0.6037kg/cm²~0.8520 kg/cm² 之間，平均拉力為 0.7206kg/cm²，由此可知 8 支柱腳傾倒所需拉力比 4 支腳大，穩固度越好。
4. 等腰直角三角形柱：4 支柱腳拉力介於 0.275kg/cm²~0.5221kg/cm² 之間，平均拉力為 0.3986kg/cm²；8 支柱腳拉力介於 0.6957 kg/cm²~0.7911 kg/cm² 之間，平均拉力為 0.7459kg/cm²，由此可知 8 支柱腳傾倒所需拉力比 4 支腳大，穩固度越好。

5. 正方柱：4 支柱腳拉力介於 $0.2937\text{kg/cm}^2 \sim 0.5110\text{kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.3582kg/cm^2 ；8 支柱腳拉力介於 $0.5110\text{kg/cm}^2 \sim 0.6075\text{kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.5593kg/cm^2 ，由此可知 8 支柱腳傾倒所需拉力比 4 支腳大，穩固度越好。
6. L 型柱：4 支柱腳拉力介於 $0.2639\text{kg/cm}^2 \sim 0.5448\text{kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.4044kg/cm^2 ；8 支柱腳拉力介於 $0.5925\text{kg/cm}^2 \sim 0.9397\text{kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.7661kg/cm^2 ，由此可知 8 支柱腳傾倒所需拉力比 4 支腳大，穩固度越好。
- 7.圖 3-3-1 探討不同支撐腳數量(8 支)對五斗櫃穩固度的影響



實驗 3-3 結果說明：

1. 不論腳柱型態，腳柱數量均使拉力值有差異明顯，8 支柱腳傾倒的所需拉力越大，明顯大於 4 支柱腳，因此**支撐腳數量越多越穩固**。
2. 由上表分析可知，當支撐腳形式為 L 形時，五斗櫃傾倒所需的拉力最多，所以**L 形柱的櫃子最為穩固**；拉動正方柱傾倒所需的拉力最小，所以**正方形支撐腳的櫃子最不穩固**（如右圖所示）。



實驗 3-4 探討不同支撐腳粗細對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 使用厚度 0.5cm 的 PP 板分別割出圓形柱、等腰直角三角形柱、正方柱、L 形柱。
2. 將相同圖形利用白膠黏起來，堆疊成厚度 1 公分底腳，底面積為實驗 3-1 的兩倍。
3. 使用泡棉膠固定製作好的 4 個底腳黏在與五斗櫃相同大小的版子上。
4. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處，將拉力計歸零後平移拉動以觀察拉力計數值變化。
5. 紀錄物體在傾倒時數值，並將連續拉動 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。
6. 改變不同粗細重複前面實驗進行之。

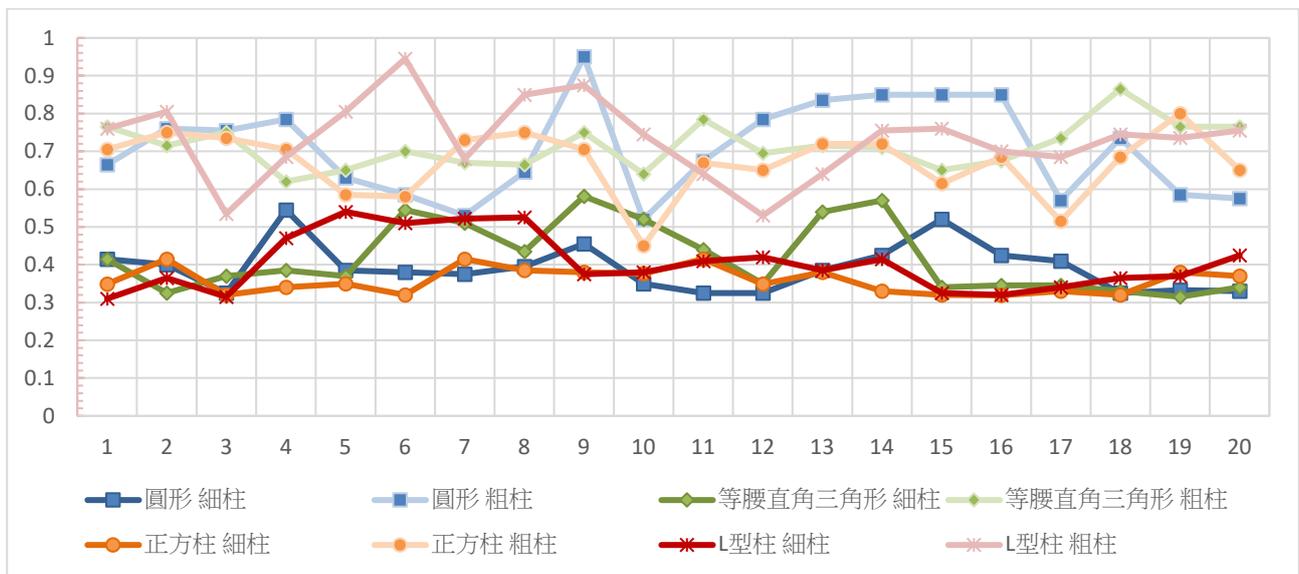
表 3-4-1 探討不同支撐腳粗細對五斗櫃穩固度的影響

柱腳底面形狀	圓形		等腰直角三角形		正方柱		L 型柱	
	細柱	粗柱	細柱	粗柱	細柱	粗柱	細柱	粗柱
1	0.415	0.665	0.415	0.765	0.205	0.705	0.31	0.76
2	0.4	0.76	0.325	0.715	0.215	0.75	0.365	0.805
3	0.325	0.755	0.37	0.75	0.315	0.735	0.315	0.535
4	0.545	0.785	0.385	0.62	0.325	0.705	0.47	0.685
5	0.385	0.63	0.37	0.65	0.365	0.585	0.54	0.805
6	0.38	0.585	0.545	0.7	0.215	0.58	0.51	0.945
7	0.375	0.53	0.51	0.67	0.39	0.73	0.522	0.68
8	0.395	0.645	0.435	0.665	0.215	0.75	0.525	0.85
9	0.455	0.95	0.581	0.75	0.275	0.705	0.375	0.875
10	0.35	0.52	0.52	0.64	0.315	0.45	0.38	0.745
11	0.325	0.675	0.44	0.785	0.46	0.67	0.41	0.64
12	0.325	0.785	0.35	0.695	0.325	0.65	0.42	0.53
13	0.385	0.835	0.54	0.715	0.435	0.72	0.385	0.64
14	0.425	0.85	0.57	0.71	0.38	0.72	0.415	0.755
15	0.52	0.85	0.34	0.65	0.46	0.615	0.325	0.76
16	0.425	0.85	0.345	0.675	0.295	0.685	0.32	0.7
17	0.41	0.57	0.345	0.735	0.45	0.515	0.34	0.685
18	0.325	0.735	0.33	0.865	0.43	0.685	0.365	0.745
19	0.333	0.585	0.315	0.765	0.32	0.8	0.37	0.736
20	0.33	0.575	0.34	0.765	0.23	0.65	0.425	0.755
平均	0.3914	0.7068	0.4186	0.7143	0.3582	0.6703	0.4044	0.7316
標準差	0.0595	0.1195	0.0874	0.0567	0.0836	0.0811	0.0702	0.0971
2 倍標準差	0.1191	0.2389	0.1748	0.1135	0.1671	0.1623	0.1405	0.1942
範圍最大值	0.5131	0.9457	0.5928	0.8277	0.4981	0.8325	0.5445	0.9258
範圍最小值	0.2749	0.4678	0.2432	0.6008	0.1639	0.5080	0.2635	0.5373
剔除後平均	0.3675	0.6939	0.4186	0.7063	0.3582	0.6703	0.4044	0.7424

單位：kg/cm²

實驗 3-4 結果分析：

1. 圓形柱：細柱拉力介於 $0.325 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.455 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.3675 kg/cm^2 ；粗柱拉力介於 $0.52 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.85 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.6939 kg/cm^2 ，由此可知粗柱傾倒所需拉力比細柱大，穩固度越大。
2. 等腰直角三角形柱：細柱拉力介於 $0.315 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.581 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.3955 kg/cm^2 ；粗柱拉力介於 $0.6008 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.8277 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.7063 kg/cm^2 ，由此可知粗柱傾倒所需拉力比細柱大，穩固度越大。
3. 正方柱：細柱拉力介於 $0.205 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.46 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.3145 kg/cm^2 ；粗柱拉力介於 $0.5080 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.8325 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.6264 kg/cm^2 ，由此可知粗柱傾倒所需拉力比細柱大，穩固度越大。
4. L 型柱：細柱拉力介於 $0.31 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.54 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.3804 kg/cm^2 ；粗柱拉力介於 $0.5373 \text{ kg/cm}^2 \sim 0.9258 \text{ kg/cm}^2$ 之間，平均拉力為 0.7424 kg/cm^2 ，由此可知粗柱傾倒所需拉力比細柱大，穩固度越大。
5. 圖 3-4-1 探討不同支撐腳粗細對五斗櫃穩固度的影響



實驗 3-4 結果說明：

1. 拉動粗柱柱腳傾倒的所需拉力越大，因此我們可以說明拉動柱腳越粗的櫃子越穩固，穩固度由大到小為：粗 > 細。
2. 由 3-4-1 表分析可知，L 形柱粗支撐腳傾倒所需的拉力較多，所以 L 形柱粗腳柱的櫃子較為穩固；拉動正方柱傾倒所需的拉力最小，所以正方形支撐腳的櫃子最不穩固。
3. 支撐腳越粗，櫃體越穩固，所需要的拉力越大。

研究 3-4 研究討論：

※綜合以上實驗結果發現：

因為**支撐腳的粗細與數量**影響的都是與地板的接觸面積，我們的實驗數據顯示：支撐腳越粗、數量越多，五斗櫃的穩固性越強。也就是說：**與地面接觸面積增加，會增加櫃體的穩固性**。在本實驗中，穩固性應該就是抓地力，也就是櫃子與地面的摩擦力。

真的是這樣嗎？經過詢問，我們瞭解**生活中的摩擦力有三個要點**：

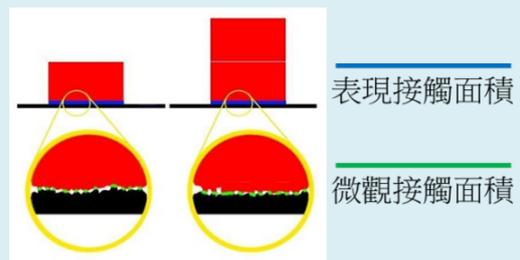
1. 摩擦力的大小**與正向力成正比**， $f = \mu N$ （ μ 為摩擦係數）
2. 摩擦力的大小**與接觸面積大小無關**。
3. 摩擦力的大小**與二表面相對速度大小無關**。

但為何我們做出來的結果會與摩擦力公式不一樣呢？為了解開心裡的疑問，我們進一步蒐相關文獻，發現：

1. 科學研習期刊提到，應以各種粗糙程度的接觸面積總和 ΣA_{asp} ，來代表兩個物體間的「**實際接觸面積**」（true contact area）。對於摩擦力與接觸面積的關係，則以 $f_{asp} = \tau \Sigma A$ 來描述。（ τ 為兩個物體間等效剪應力強度 effective shear strength）。也就是說，從微觀的角度來看，**摩擦力與實際接觸面積是成正比的**。

2. 第 58 屆全國科展物理科作品-修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的有關係提到：**微觀角度中，介面間實際接觸面積越大，摩擦力越大**。

3. 每日頭條網指出在生活當中有很多物體的微觀表面接觸面積都是非線性彈性特徵，所以在現實生活中，**同樣的壓力下，往往接觸面積越大，摩擦力越大**。



圖片取自:每日頭條網

4. $f = \mu N$ 在理想的特定條件下，如有**屈服極限的硬質材料，摩擦係數只與接觸面**

粗糙程度有關，而與接觸面積無關。滾動摩擦力是靠接觸面的變形所產生，變形的面積愈大，則造成的阻力較大。

因此我們推論：

1. 本實驗可證明**拉力增加主要受抓地力的影響，因為接觸面積增加摩擦力變大，抓地力也會跟著增強**。

2. **L 型支撐腳在受力面展開的長度也較長，因此抓地力也會增加**。

綜合研究 2-1~3-4，我們發現底面積長寬比為 2:1、腳柱形狀為 L 形、腳柱越粗、腳柱越低、腳柱越多越穩固，因此我們以上述條件作為模型，進行看看是否可以大大提昇五斗櫃的穩固性。

實驗 3-5 綜合最佳條件看看是否有最強的穩固性。

實驗步驟：

1. 使用厚度 0.5cm 的 PP 板割出柱腳。
2. 將相同圖形利用白膠黏起來，堆疊成厚度 1 公分底腳，底面積為 6：9。
3. 使用泡棉膠固定製作好的底腳黏在與五斗櫃相同大小的板子上。
4. 將拉力計掛勾掛於層板孔洞處，將拉力計歸零後平移拉動以觀察拉力計數值變化。
5. 記錄物體在傾倒時數值，並將連續拉動 20 次並計算平均值及標準差，並以常態分配 2 個標準差作為數據誤差剔除。

表 3-5-1 比較各組最佳結果並製作最佳模型驗證

各組最佳	最佳模型	實驗 3-1	實驗 3-2	實驗 3-3	實驗 3-4
	8 支	L 形柱	1cm	8 支	粗柱
1	3.405	0.415	0.415	0.68	0.76
2	3.265	0.325	0.325	0.87	0.805
3	3.295	0.37	0.37	0.888	0.535
4	3.4	0.385	0.385	0.62	0.685
5	3.275	0.37	0.37	0.875	0.805
6	3.225	0.545	0.545	0.835	0.945
7	3.275	0.51	0.51	0.677	0.68
8	3.285	0.435	0.435	0.811	0.85
9	3.27	0.581	0.581	0.71	0.875
10	3.28	0.52	0.52	0.677	0.745
11	3.27	0.44	0.44	0.865	0.64
12	3.27	0.35	0.35	0.69	0.53
13	3.225	0.54	0.54	0.836	0.64
14	3.2	0.57	0.57	0.8	0.755
15	3.26	0.34	0.34	0.888	0.76
16	3.285	0.345	0.345	0.613	0.7
17	3.27	0.345	0.345	0.72	0.685
18	3.265	0.33	0.33	0.785	0.745
19	3.215	0.315	0.315	0.777	0.736
20	3.25	0.34	0.34	0.705	0.755
原始平均	3.2743	0.4186	0.4186	0.7661	0.7316
標準差	0.0481	0.0874	0.0874	0.0868	0.0971
2 倍標準差	0.0961	0.1748	0.1748	0.1736	0.1942
範圍最大值	3.3704	0.5928	0.5928	0.9397	0.9258
範圍最小值	3.1781	0.2432	0.2432	0.5925	0.5373
剔除後平均	3.26	0.4186	0.4186	0.7661	0.7413

單位：kg/cm²

實驗 3-5 結果說明：

由 3-5-1 表分析可知，透過結合各組數據製作出最佳模型，**拉力值平均可達 3.26 kg/cm^2** ，穩固度提升許多，與各組實驗對照時，更達到 **9 倍的差距**。

研究四：創作安全不倒五斗櫃形式驗證

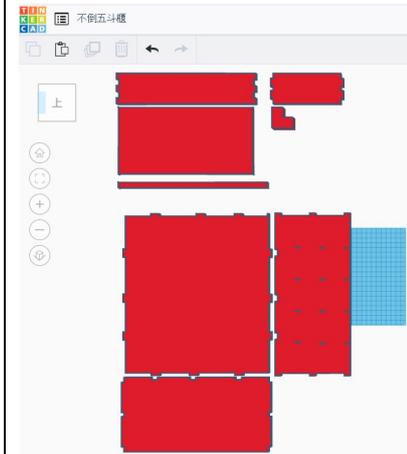
櫃體基本設置：(市售五斗櫃體積與重量比介於 $0.098 \text{ kg/cm}^3 \sim 0.155 \text{ kg/cm}^3$)

櫃體：長 30cm、寬 15cm、高 34cm(含腳柱 1cm 高)

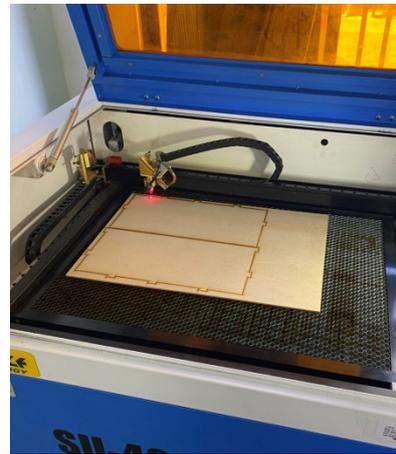
層櫃：長 28cm、寬 14cm、高 6cm

整體重量：2.2kg(體積與重量比為 0.144 kg/cm^3)

使用線上 3D 繪圖進行自製五斗櫃的設計



使用雷射切割機切割厚 3mm 新松密迪板 30cm*40cm，製成各組件。



利用熱融膠將各組件黏合後，用自攻螺絲製成扣環，固定於層櫃拉環。



探討五斗櫃傾倒因素：

因家具未能固定於牆面或地板，拉出抽屜時亦使中心外移而產生槓桿效應，使五斗櫃向抽屜拉出方向傾倒。依使用者習慣容易產生以下幾種情形，我們依此進行實驗討論：

1. 拉出距離影響傾倒：(實驗設計 4-1：層櫃拉出距離及承受重量之關係)
2. 物品擺放重量不一：(實驗設計 4-2：擺放重物位置的影響)
3. 同時拉出多個五斗櫃：(實驗設計 4-3：重物層位與抽出層櫃相對位置的影響)
4. 使用時攀爬五斗櫃：(實驗設計 4-4、4-5：底面積增加對五斗櫃穩定的影響)

實驗 4-1 探討層櫃拉出距離及承受重量之關係

實驗步驟: 1.將重物潛水用鉛塊(單位:1 公斤)平均放置於欲拉出的層櫃中。

2.逐步拉出層櫃直至傾倒。

3.記錄物體在傾倒時，層櫃拉出距離及所需使用的鉛塊。

重物放置 拉出距離 (cm)	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層
5	10	9	8	7	7
6	9	8	8	7	7
7	8	8	7	7	6
8	7	7	6	6	6
9	6	6	6	5	5
10	10*	5	5	4	4
11	10*	4	4	4	3
12	10*	4	3	3	2

單位：公斤

*表示層櫃前端已接觸平面，而櫃體本身無傾倒。

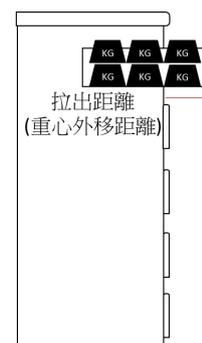
實驗 4-2 探討相同重物放置於不同層櫃對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟: :

1. 將重物(單位:公斤)承裝滿層櫃(重 6 公斤)。

2. 逐漸拉出層櫃至傾倒為止。

3.記錄層櫃在傾倒時拉出的距離。



重物放置 次數	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層
1	8.7	8.3	8.3	8	8
2	8.5	8.5	8.4	8.1	7.9
3	8.6	8.6	8.2	7.8	7.7
4	8.8	8.6	8.3	8.1	7.8
5	9	8.4	8.5	8.2	7.9
平均	8.72	8.48	8.34	8.04	7.86

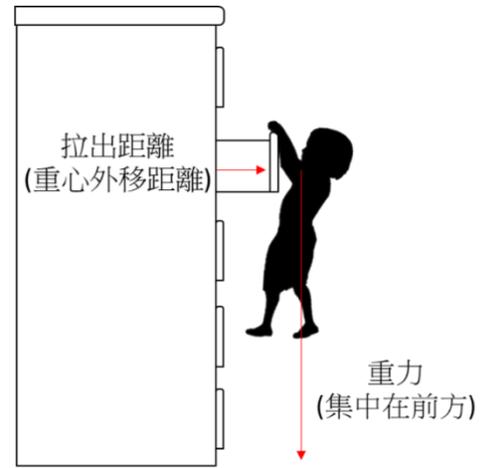
單位：公分

實驗 4-1、4-2 結果說明:

1.層數越高，櫃體可承受的重量越少；且當層櫃拉出的長度越長，櫃子越不穩。

2.當第一層前端接觸地面時，則會使櫃體更加穩固而不傾倒，因此可以添加較多重物。

依據實驗 4-1、4-2 結果了解層櫃中**重物放置會影響五斗櫃的傾倒狀況**，因此將重物集中放置於層櫃前方，藉此模擬孩童攀爬五斗櫃時，懸掛於拉出抽屜時的情形。(如圖示)



實驗 4-3 探討放置重物位置對五斗櫃穩固度的影響

實驗步驟：

1. 將重物潛水用鉛塊(單位:1 公斤)**集中放置**於第五層櫃**前端、中央、內側**位置。
2. 將重物(單位:公斤)依需要放至拉出層櫃。
3. 記錄層櫃在傾倒時，放置的重量。

重物放置	前端	中央	內側
次數			
1	5.2	8.3	10.4
2	5.1	8.6	10.5
3	5.3	8.7	10.6
4	5.2	8.4	10.5
5	5.2	8.5	10.4
平均	5.2	8.5	10.48

單位：公分

實驗 4-3 結果說明：

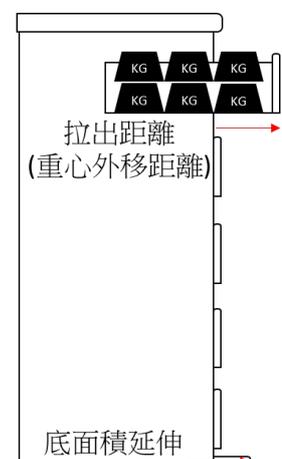
當物體**集中擺放在層櫃前端(外側)**時，**穩固度越小**，因為**重心會更早移出櫃體**。

從實驗 4-1~4-3 可以得證，當**重心外移時越容易傾倒**，**物體越重時也會使得櫃體越易傾倒**，因此想進一步了解當底面積增加時，能否改變五斗櫃傾倒的現象。

實驗設計 4-4 底面積增加對五斗櫃穩定的影響

實驗步驟：

1. 將重物承裝滿第 5 層層櫃(共重 6 公斤)。
2. 調整底面積大小，將原本的寬度 15*30，增加至實驗條件。
3. 逐漸拉出層櫃至傾倒為止，記錄層櫃在傾倒時拉出的距離。



增加底面積	60cm ² (2*30)	120 cm ² (4*30)	180 cm ² (6*30)	240 cm ² (8*30)
次數				
1	9.2	10.1	10.8	11.5
2	9.4	10.4	11.1	11.3
3	9.4	10.4	11.3	11.6
4	9.5	10.6	10.9	11.3
5	9.3	10.5	11.2	11.5
平均	9.36	10.4	11.06	11.44

單位：公分

實驗設計 4-5 底面積增加對五斗櫃穩定的影響

實驗步驟：

1. 調整底面積大小，將原本的寬度 15*30，增加至實驗條件。
2. 將層櫃拉出至指定距離，依序擺放重物。
3. 記錄層櫃在傾倒時，放置的重量。

增加底面積	60cm ² (2*30)	120 cm ² (4*30)	180 cm ² (6*30)	240 cm ² (8*30)
拉出距離				
5	10	10	10	10
6	9	9	10	10
7	8	9	9	10
8	8	8	9	10
9	7	8	8	9
10	6	7	8	9
11	5	6	7	8
12	5	6	7	8

單位：公斤

實驗 4-4、4-5 結果說明：

底面積增加越多，層櫃可拉出的距離越長，可承受的重量也越重，櫃體越不容易傾倒。

伍、研究結果及討論

一、根據研究一，根據測試結果，我們發現越低層的五斗櫃**重心位置較低**，所需的**拉力越大**，也較不易傾倒。

二、根據研究二，五斗櫃尺寸可分**不同底面積長寬比**、**不同高度**兩類，其中不同底面積受長寬比影響，當拉力**施力面越長所需的拉力越小**，**高度越高所需拉力亦越小**。

研究問題	研究結果
(一)不同底面積長寬比	底面積大小設計會因為長寬比例不同而有所變化，當受拉力面長度越長，重心移出櫃體的距離越短，也越容易使五斗櫃翻覆。 以長寬比接近 2:1 為最佳。
(二)不同高度	當櫃子底面積相同時，高度越低，穩固度越好。

三、根據研究三，不同腳柱因素共可分為**不同支撐腳形式**、**不同支撐腳高度**、**不同支撐腳數量**、**不同支撐腳粗細**，我們可以得知，支撐腳形式對於五斗櫃穩定度是有影響的，其中以**等腰直角三角形柱**、**L形柱腳設計較佳**，而**腳柱高度越低越好**，**腳柱數量越多越好**，**腳柱越粗越好**。

研究問題	研究結果
(一)不同支撐腳形式	當支撐腳面積相同時， L型 受力方向展開的長度較長， 摩擦力較大 ，所需拉力也越大，穩固度也越強。
(二)不同支撐腳高度	當支撐腳高度越高，無形中也墊高整體櫃子高度， 重心提高會降低穩固度 。
(三)不同支撐腳數量	隨著 腳柱數量增加 也使 增加與桌面的摩擦力 ，因此穩固度也越大。
(四)不同支撐腳粗細	腳柱變粗時，一樣增加摩擦力，所以穩固度越高。

四、綜合研究一至三，五斗櫃的設計會導致不同程度的影響，即重心越低的設計會大大降低翻覆的可能，但在使用上如果可以加重下方放置物，使**重心下降則可以大大減少翻覆的可能**。

五、當放置物品層櫃越低，**可以拉出距離越長**，穩固性越大。而重物放置在層櫃前端時，會使層櫃可承受重量大幅減少，越不穩固。當底面積增加，會增加可承受的重量，**提升櫃體穩固度**。

陸、結論

本研究主要探討可以成功防止五斗櫃傾倒的因素：

- 一、重心位置與櫃體深度有極大相關，當重心移出櫃體時有增加翻覆的危機，其中當受拉力面越長越容易傾覆。
- 二、支撐腳與五斗櫃傾覆亦有極大相關，支撐腳高度、粗細、數量、形狀設計均影響五斗櫃的穩固性，當腳柱越短、與地面接觸面越大、數量越多則可以增加更多的拉力。
- 三、當底面積增加時，層櫃可以拉出的距離越長，穩固性越高，可大大減少五斗櫃傾倒情況的產生。

柒、創新與發明

綜合研究結果，我們嘗試針對現有的五斗櫃進行設計與改良，希望能想辦法降低五斗櫃的重心，並且增加支撐腳的穩固性，使櫃體拉開後，不要讓重心移開櫃體。

*經過大家集思廣益，決定用以下的方式來製作，達成不使重心移開櫃體的安全設計，並發明出這款：安全不倒五斗櫃

*操作方法：

利用櫃體本身抽屜拉開後，牽引了下方的重心支臂一併往前伸出，避免過重傾倒，達到穩定重心的目的。

*作品效益：

- 1.保護幼童免於因櫃子傾倒而受傷或死亡。
- 2.不需另外固定於牆面上，方便移動。



■上圖 為本研究後之改良製作第一代成品

本作品是經由一連串的研究結果與發現，發揮想像與創意，終於打破原有五斗櫃容易傾倒的缺點，採用最安全的方式進行改良設計，希望避免再度發生五斗櫃壓死人的事件。本作品並參加 2021 世界青少年發明展台灣區選拔賽，得到金牌的鼓勵，作品專利也在申請當中。期盼安全不倒五斗櫃的誕生，能為人們的生活，帶來更安全的保障！

捌、研究展望

因受限於實驗器材，本研究設計儘可能模擬五斗櫃之造型做呈現，但仍無法完全適用於市面上所有五斗櫃的造型及變化，亦無探討室內空間運用時的情形，希望未來能更進一步的深入研究，本研究亦同時進行櫃體的改良發想，製作不同於一般櫃體的防範傾倒設計。未來若有機會，我們想繼續探究在改良設計上可以進行何種突破？

玖、參考資料

1. 內政部建築研究所（2020），家具與家電防震對策參考手冊。
2. 李慧蘋（2017年11月23日），IKEA 抽屜櫃壓死 8 童 美國召回、台灣繼續賣，三立新聞網，取自 <https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=318154>
3. 陳美玲、白菁汝、黃映慈、洪惠君（2008），高中物理之重心與平衡的教學活動暨教具設計，*物理教育學刊*，9(2)，103-112 頁。
4. 張瑋真、鄭郁錡、陳韋如、鄭琬誼、葉姿妤（2018），修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的有關係，第 58 屆全國中小學科展物理科。
5. 鄭劭家（2014），微觀尺度下的摩擦力定律，*科學研習月刊*，50(11)，16-19。
6. 輪胎越寬抓地力越強？微觀接觸面積了解一下！，頭條新聞網，取自：
<https://kknews.cc/car/o5jm3b6.html>
7. 林順發、楊柏倫、張英銘（2015），腳踏車輪胎胎紋與抓地力的影響，中學生網站。

壹拾、心得感想

從一開始的題目發想、建立研究架構、以及製作實驗器材，還有觀察、討論，都使我體驗科學的樂趣和奧妙，但是，讓我最印象深刻的事情是：大家一開做實驗時都有各自的想法有時也會有些紛爭，但經由溝通讓我們變得越來越有凝聚力，也進一步能有條理的述說自己的想法，我覺得科展不僅僅只是一個自然科學的比賽，還包括了如何將向心力凝聚在一起。

關於五斗櫃的傾倒因素之改良，我們利用這次的實驗學到許多關於五斗櫃原理的科學知識，如：動手割底板、柱腳、拼積木等 DIY 的精神，並研究出傾倒機率最小的五斗櫃，這項研究不僅提供我嶄新的學習機會，更以幫助社會大眾為目標，做了創新的研究與發想，不僅成就感十足，也讓我們的小學生涯更精采！

【評語】 080117

本作品探討五斗櫃打開抽屜造成傾倒的相關因素，也應用了穩定平衡的科學原理改良了五斗櫃，頗具實用性。本作品屬於應用方面的生活科技類，部分結論為明顯直觀的應用。科學嚴謹度與創新性方面，都有增進的空間。

作品簡報

化險為夷～ 五斗櫃傾倒因素之改良



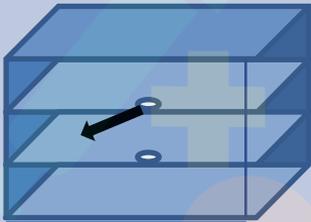
國小組 物理科



圖片取自：法新社Carolyn Kaster/PA

實驗1-1：

探討不同層數(高度)對穩固度的影響

不同層數	二層	三層
圖片		
數據	0.331	0.233

發現與推論

發現：不同層數(高度)，穩固度由大到小排序為：二層 > 三層

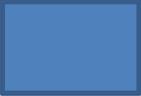
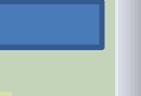
推論：越低層的櫃子，越穩固。



1. 在pp板上常邊中點距離邊線0.5cm處鑽一個洞。
2. 將拉力計的掛鉤掛於層板孔洞處。
3. 將拉力計歸0，**平行拉動拉力計**，在五斗櫃傾倒的瞬間觀查拉力計數值的變化並記錄下來。
4. 重複實驗20次並記錄數值。

實驗2-1：

不同底面積長寬比對穩固度的影響

	9:6	8:6	7:6	7:3	8:3	9:3
圖例						
數據	1.3661	1.3656	1.2140	0.2467	0.2311	0.2247
結果	最穩固		最不穩固	最穩固		最不穩固



發現與推論

發現：在不同底面積時，當長邊增加至短邊的兩倍以上時，會使五斗櫃越不穩固。

推論：長寬比越接近2:1越穩固。

實驗2-2： 探討不同高度對五斗櫃穩固度的影響

	60	90	120
圖例			
數據	0.2247	0.1817	0.1568
結果	最穩固		最不穩固

發現與推論

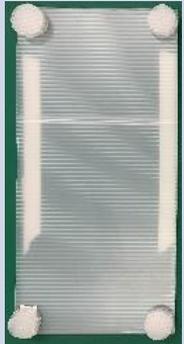
發現：我們發現拉動高度六十公分的五斗櫃傾倒所需的拉力最多。

推論：越矮的櫃子越不易傾倒。



實驗3-1：

探討支撐腳形狀對五斗櫃穩固度影響

形式	圓形	正方形	L形	等腰直角三角形
圖片				
數據	0.3757	0.3310	0.4186	0.4044
結果		最不穩固	最穩固	

發現與推論

發現：**L型柱** > 等腰直角三角形柱 > 圓形柱 > **正方形柱**

推論：當面積相同時，L形展開的長度比較長，因此**摩擦力比較大**，**穩固性較強**。

實驗3-2：

探討**支撐腳高度**對五斗櫃**穩固度**影響

發現與推論

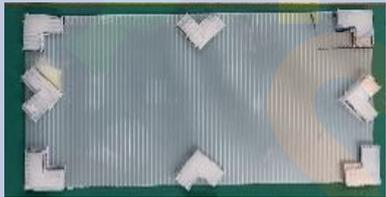
發現：支撐腳越**低**越**穩固**。

推論：這是因為當物體越**低**時，物體的**重心**會**下降**，當**重心**下降時物體就不容易倒塌。

高度	1公分	2公分
圖片		
數據	0.4186	0.3862
結果	較穩固	較不穩固

實驗3-3：

探討**支撐腳數量**對五斗櫃穩固度影響

數量	4枝柱腳	8枝柱腳
圖片		
數據	0.335kg/cm ²	0.745kg/cm ²

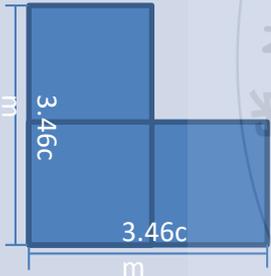
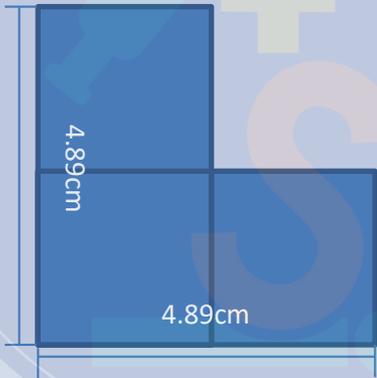
發現與推論

發現：8支柱腳的拉力
>4支柱腳的拉力。
因此**支撐腳越多**，
穩固度越強。

推論：與表面接觸面積
越多，摩擦力越
大，穩固度越強。

實驗3-4：

探討支撐腳粗細對五斗櫃穩固度影響

粗細	8.97cm ²	17.93cm ²
圖片		
數據	0.395kg/cm ²	0.706kg/cm ²

發現與推論

發現：支撐腳越粗，穩固度越強。

推論：與表面接觸的面積越大，摩擦力越大，穩固性也越強。

深入探討見研究21頁

實驗3-5：

綜合最佳條件對五斗櫃穩固度影響

結合

2-1~3-4最佳條件，我們可以發現：

1.長寬比
越接近

2 : 1

(1.3661)

2.腳柱形
狀

L形

(0.3955)

3.腳柱

越粗

(0.3955)

4.腳柱

越低

(0.7661)

5.腳柱

越多

(0.7424)

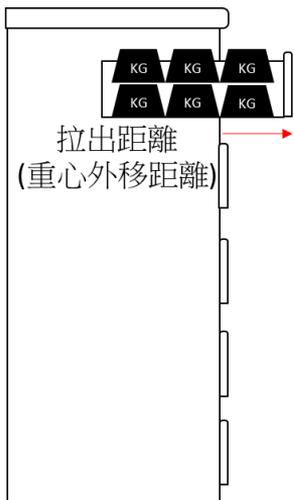
我們以最佳條件作為模型，驗證結果。

發現與推論

證明：最佳模型拉力值
平均可達**3.26**
kg/cm²，能夠提供
更穩定的使用，
更達到**9倍**的差距。



實驗4-1：探討層櫃 拉出距離及承重



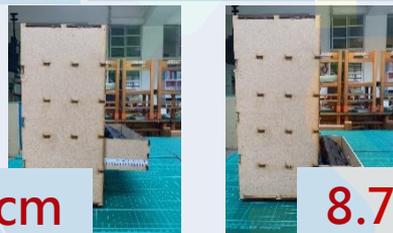
實驗4-2：重物放置 於不同層櫃



7.86cm

8.04cm

8.04cm



8.48cm

8.72cm

實驗4-3：放置重物位置(前端、中央、內側)



發現與推論

證明：層數越高，櫃體可承
受的重量越少；且當
層櫃拉出的長度越長，
櫃子越不穩。

推論：當物體集中擺放在層
櫃前時，會增加五斗
櫃傾倒的情形，亦代
表重心會更早移出櫃
體。

實驗4-4~4-5： 底面積增加對五斗櫃穩定的影響

發現與推論

證明：底面積增加越多，層櫃可拉出的距離越長，也使櫃體越不容易傾倒，可承受的重量也越重。

	60cm ²	120 cm ²	180 cm ²	240 cm ²
照片				
平均	9.36cm	10.4cm	11.06cm	11.44cm
照片				
平均	5kg	6kg	7kg	8kg

總結

- 一、越低層五斗櫃**重心位置較低**，所需的**拉力越大**，也較不易傾倒。
- 二、底面積受長寬比影響，當拉力**施力面越長**所需的**拉力越小**，**高度越高**所需**拉力亦越小**。
- 三、支撐腳形式對於五斗櫃穩定度有影響，其中以**L形柱腳設計較佳**，**腳柱高度越低越好**，**腳柱數量越多越好**，**腳柱越粗越好**。
- 四、**重心下降**則可以大大減少翻覆的可能。
- 五、放置物品層櫃越低可拉出距離越長；物品**越重可拉出距離越短**，重物放置在層櫃前端時，則會使層櫃可承受重量大幅減少，當**底面積增加**，可以**提升櫃體穩定度**。

發明與創新



▲ 研究與實證結合之發明

本作品並參加2021世界青少年發明展台灣區選拔賽，**得到金牌**的鼓勵，**作品專利**也在申請當中。