

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

032920

你以為紙板很弱?紙板承重與紙板家具製作

學校名稱：基隆市立中正國民中學

作者：  國二 謝知翰  國二 沈玓湯  國二 黃聖隆	指導老師：  林恒毅
---	------------------

關鍵詞：瓦楞紙板、家具、承重

## 摘要

以前曾經在新聞上看到過紙板製作家具的報導，覺得非常的新奇有趣，所以決定以此為題進行探究，動手試試看瓦楞紙板所製作的家具應該如何設計才能夠有足夠的強度，以承受實際應用時的真實需求。為此，我們蒐集了相關的文獻進行研究，並對於不同的設計方案與實作成果的瓦楞紙長凳進行了多次的測試，發現瓦楞紙長凳靜載重可達 100 公斤重，證實了紙製家具的實用性與可行性。

## 壹、前言

### 一、研究動機

由於新冠疫情肆虐，2020 東京奧運會延後至 2021 年暑假舉辦，同期間我們因為新冠疫情三級警戒無法出門，只好待在家裡看東奧賽事的全程轉播。新聞相關報導（「2021 東奧報導：選手村紙板床不堪用？運動員多人實測弄垮它」，記者：陳凱俊，鏡周刊，2021/7/27）奧運選手們的床為了環保及回收再利用，竟然是使用紙板製成的，以色列選手還找許多人一起跳上床來測試紙板床的承載能力極限。根據報導稱：紙板床長 210 公分，寬 90 公分，可承受高達 200 公斤的重量，還標榜 100% 可回收，是由日本知名床墊公司研發製作。我們當時非常好奇，為什麼看似脆弱的紙板，但紙板製作出來的家具卻可以承受這麼大的重量呢？究竟什麼樣的設計才能夠達成這個需求呢？到底哪一種紙板才可堪大用呢？我們決定由自己透過動手、設計、實作、與探究，來取得上面這些問題的解答！

### 二、研究目的

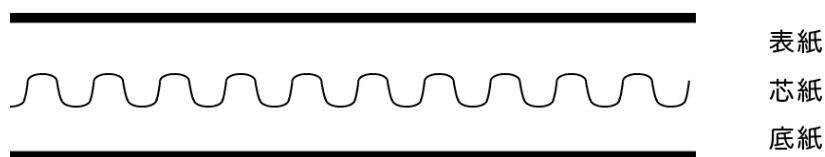
- (一) 測量瓦楞紙板不同楞向的承載能力
- (二) 自製紙板長凳並進行承重測試
- (三) 更新設計並進行承重測試

### 三、文獻探討

#### (一) 瓦楞紙版類型及介紹

##### 1、瓦楞紙

（資料來源：<http://www.box1.tw/cardboard-guide>）：瓦楞紙是由「表紙」與「芯紙」裱褙貼合而成，如下圖所示，其中「芯紙」呈現波浪狀以提供足夠的強度來防止波浪縱向的彎折變形，而「表紙」除了可以保護、維持「芯紙」的波浪形狀及其縱向強度之外，還可兼顧表面與外形上的美觀，是產品包裝運送時的重要包裝材料。「芯紙」通常使用回收紙張來製作，而「表紙」才會選用較好的材質。一般來說可依據其層數的不同進行分類如下：



(1) 二層裱褙：只由一層「表紙」與一層「芯紙」裱褙而成，如下圖所示，一般常用於電燈泡的緩衝包材。



(2) 三層裱褙：由上下兩層「表紙」與一層「芯紙」裱褙而成，如下圖所示，厚度約 4.5 mm 且波浪較大者稱為「A 楞」，厚度約 2.5 mm 且波浪較小者稱為「B 楞」。其中「A 楞」較厚，常用於搬家紙箱或水果箱等；而「B 楞」較薄，常用於印刷產品。



(3) 多層裱褙：多層瓦楞基本上是由上述幾種瓦楞貼合而成，所以楞高較前者更高、更厚，強度也更強，所以也更適合做為大型產品外包裝的緩衝材料。若是以「A 楞」與「B 楞」兩種不同瓦楞紙所貼合的就稱為「AB 楞」，總厚度約為 8 mm 左右；若是以兩個「A 楞」所貼合的就稱為「AA 楞」，總厚度則約為 10 mm 左右。



紙板類型		厚度(±0.3) mm
兩層裱褙	F 楞	0.8
三層裱褙	E 楞	1.1
	C 楞	3.5
	B 楞	2.5
	A 楞	4.5
五層裱褙	AB 楞	7
	AA 楞	10

## (二) 紙板家具範例



### (三) 長凳結構設計參考



## 貳、使用設備及器材

### 一、材料

A B楞紙板（五層裱褙，厚度  $8.0 \pm 0.3$  mm）

### 二、器材

		
100 cm 長尺	背景光源 LED 白光	50 cm 直角尺規
		
南寶樹脂 3 7 6 1	游標卡尺	高度規
		
溫溼度計	折彎紙板 治具	

## 參、研究過程或方法

### 一、目的一：測量瓦楞紙板不同楞向的承載能力

(一) 我們本來認為材料強度優異的 AA 楞板，取自學校普通教室的大尺寸液晶螢幕的外包裝回收料，經一再的試誤與重做，也會逐漸消耗殆盡而無法充分取得，因此我們向紙箱工廠訂了 AB 楞素面材。我們以固定面積 300 x 300 mm 的 AB 楞板為基材，試驗其於不同楞向堆疊排列方式，測試其承重能力。

#### (二) 實驗設備

- 1、盛盤：300 x 300 x 7，椴木夾板。
- 2、圓柱體：接觸面  $\phi$  80 高度 H10 南檜牆抽板，盛盤與圓柱體共重 0.41kgw。
- 3、試驗時與楞板接觸之「框」

(1) 方框 300 x 300 x H35 四邊接觸

(2) 側框 300 x 300 x H35 兩側（左右）接觸

#### (三) 操作步驟

- 1、紀錄環境溫度為 28.3 °C 及相對溼度 RH 75 %
- 2、記錄負載重物個別重量、編序碼，依順序由下往上堆疊。
- 3、將受測楞板平放於框上
- 4、實驗盛盤：以直角規校準、對齊下框，再量測盛盤水平
- 5、負載重物依編號順序平放堆疊於盛盤
- 6、每放妥一個負載，讀秒 30sec，觀察盛盤下陷狀況
- 7、讀秒結束，若下陷達 10mm(圓柱體高度)，則再加載
- 8、讀秒過程，若下陷達 10mm，則停止讀秒，記錄現有負載重量加總 kg



方框



側框



測試實況

← 以紙張代替砝碼

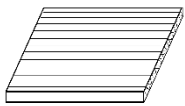
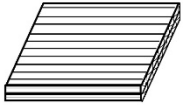
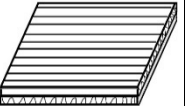
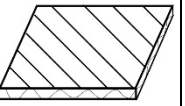
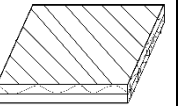
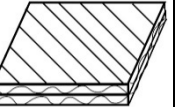
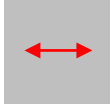
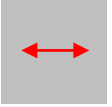
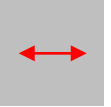



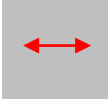


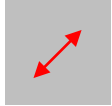
← 盛盤

← 紙板

← 框

(四) 承重測試

單位：kgw

項目	堆疊方式					
示意圖						
上層楞向						
下層楞向	-			-		
代號	A	B	C	D	E	F
方框	6.7	13.3	13.36	8.86	15.61	15.61
左右側框	6.7	13.36	11.08	8.86	11.08	11.08

(五) 結論

A B 楞不同楞向承重能力實驗中：若在四面皆有支撐的情況下，斜向排列的代號 E 及 F 有最好的承重能力；在僅支撐兩側的情況下，與支撐側（左右側前後向）呈垂直方向放置（左右向）的代號 B 承重能力較優。不過我們的長凳椅座是由兩側椅腳支撐的矩形，因此代號 B 的楞板排列方式對我們的椅座設計最有利。

## 二、目的二：自製紙板長凳並進行承重測試

### (一) 設計紙板長凳並製作



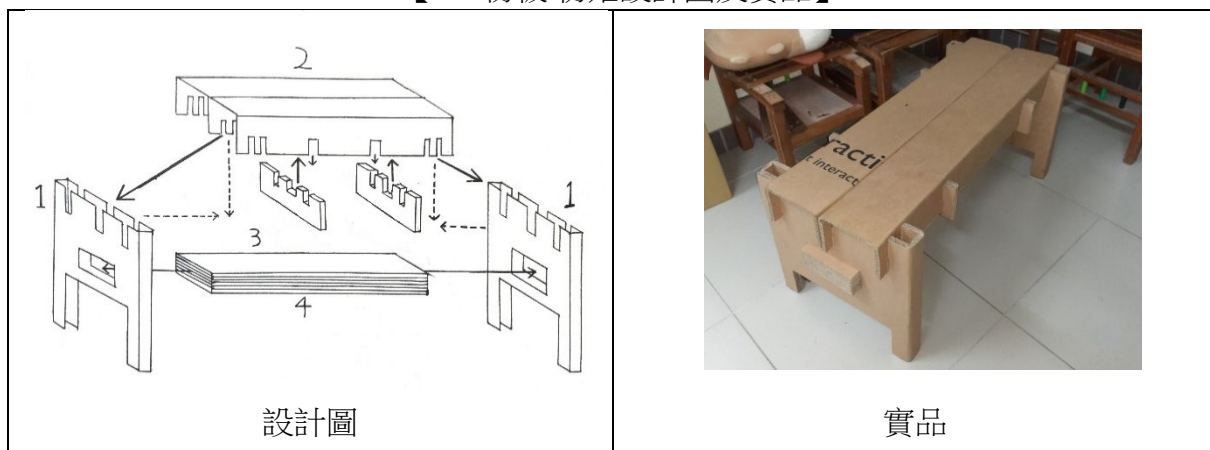
紙板床

紙板椅

紙板小圓桌

我們參考網路的紙板家具及結構，設定紙板長凳尺寸：長\*寬\*高=90\*40\*40±1.5 (cm)  
長凳共由四個部件組成，分別為：1.椅腳、2.椅座、3.支架、4.中樑

#### 【AA 楞板 初始設計圖及實品】



設計圖

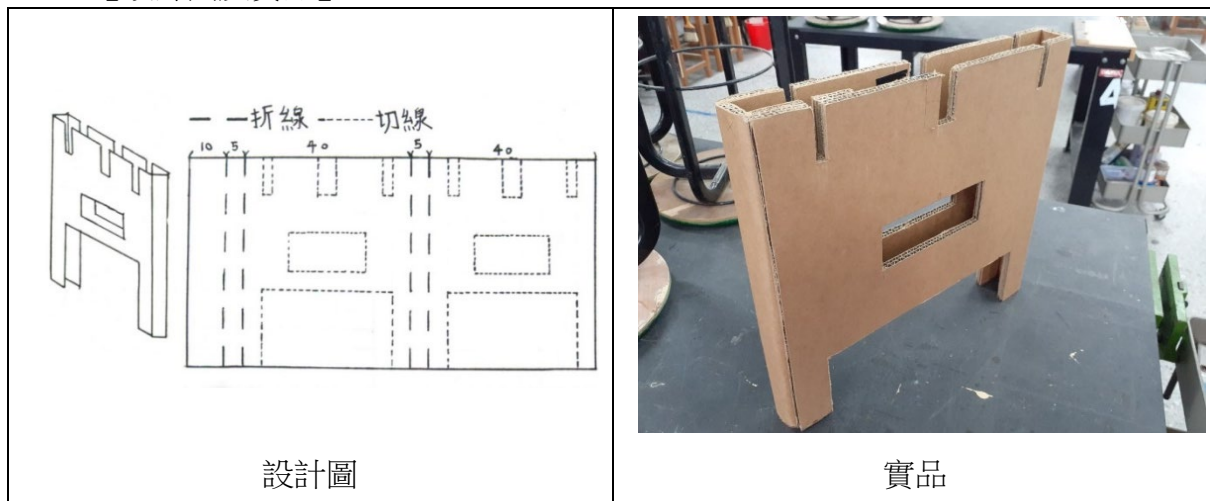
實品

#### 1、椅腳

(1) 材積 100\*45(cm)

(2) 椅腳組立尺寸為：40\*40\*5±0.5(cm)，椅腳本身中空，由一片 100\*45(cm)的紙板製成。上方有三個用於與椅座搭接的溝槽，中心有一個讓中樑穿過的長方孔。

#### 【設計圖及實品】



設計圖

實品



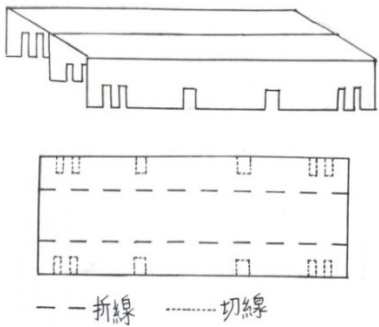

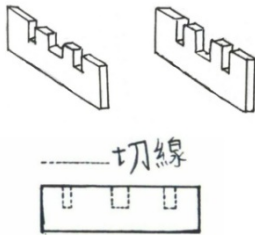
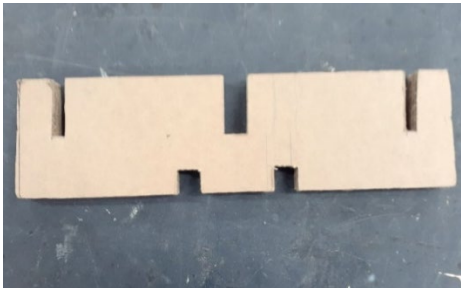
## 2、椅座

- (1) 椅座單體材積 35\*90(cm)，凹折為 $\Gamma$ 字型。
- (2) 椅座組由兩片椅座單體並排組成。左右各開兩對用於與椅腳搭接的溝槽，兩處有一對與自身方向垂直、用於與支架搭接的溝槽。

## 3、支架

- (1) 單體材積 10\*36(cm)，共 2 片疊壓黏結。
- (2) 支架組由 2 個或 3 個支架單體，於椅座下方搭接。

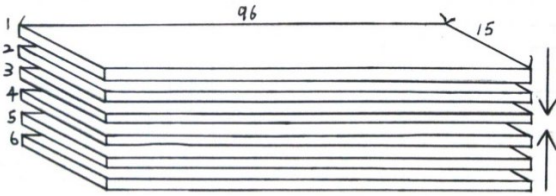

### 【設計圖及實品】

椅座	 <p style="text-align: center;">設計圖</p>	 <p style="text-align: center;">實品</p>
支架單體	 <p style="text-align: center;">設計圖</p>	 <p style="text-align: center;">實品</p>

## 3、中樑



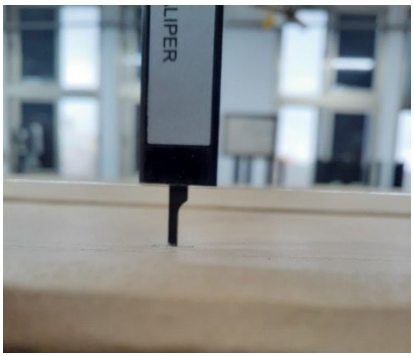

- (1) 中樑材積 96\*15(cm)，共 6 片疊壓黏結。
- (2) 中樑穿過兩個椅腳靠近中心的長方形孔以固定椅腳及整體結構。

### 【設計圖及實品】

 <p style="text-align: center;">設計圖</p>	 <p style="text-align: center;">實品</p>
--	--

## (二) 試驗紙板長凳所能承受之重量

我們初始的承重測試方法是由一位體重約 65 公斤的同學，在椅子的中心位置靜坐 45 分鐘，再使用釣魚線兩端綁紮墊片（重物），作為水平參考線，測量椅面中心測點與釣魚線的高度差。

承重前	 <p data-bbox="571 734 641 775">測量</p>	 <p data-bbox="1158 734 1228 775">數據</p>
承重後	 <p data-bbox="571 1189 641 1229">測量</p>	 <p data-bbox="1158 1189 1228 1229">數據</p>

紙板長凳在承重前，椅面中心曲度為 5.9 mm，在承重後椅面中心曲度增加至 12.6 mm，基準點共下降了 6.7 mm。代表這張椅子的使用壽命很短。

### 三、目的三：更新設計並進行承重測試

#### (一) 發現設計缺陷

問題一：椅座中段的彎曲程度最嚴重，我們認為椅面中段下方完全沒有支撐，椅腳兩端與中心距離太遠，無法有效支撐，因此造成椅面中段嚴重凹陷。

問題二：各計畫設計差異太大，製作麻煩。

問題三：刀鋸切割施工難度高，公差過大導致左右搖晃。

問題四：AB 楞板不適用於空心椅腳。

#### (二) 中樑類型與承重試驗

1、在先前的計畫中，有兩種的中樑設計，因此我們將對兩種中樑設計進行承重測試。  
中樑截面 100 x 100(mm)

型別	【中樑】 概述	長	寬	數量	材積小計 cm2
口型	開（裂）口位於下方中央	870	380	1	3,306
∩型 0	開口位於正下方	870	290	1	2,523
∩型 1	肋十字搭接 x1	870	290	1	2,775
		90	140	2	
∩型 2	肋十字搭接 x2	870	290	1	3,027
		90	140	4	
∩型 3	肋十字搭接 x3	870	290	1	3,279
		90	140	6	

#### 2、操作步驟

(3) 於受試體上緣畫中線及放置時參考線

(4) 受試體平放於地面，確認腳與地面垂直


(5) 受試體安全間距 1.5M，將負載平放於受試體前地面預備





(6) 將負載平放於受試體參考線範圍內，並確認水平

(7) 開始計時，紀錄環境溫度°C 及相對溼度 RH%，預計測試時間 3 Hr

(8) 安全移除負載

(9) 記錄受試體因負載下陷值，計算變形量

型別	負載結果 概述	照片
口型	彎曲，無斷裂 變形量：1.4 cm	

□型 0	彎曲，無斷裂 變形量：3.2 cm	O	
□型 1	於搭接開口處 斷裂	X	
□型 2	於搭接開口處 斷裂	X	
□型 3	於搭接開口處 斷裂	X	

### 3、定義

- (1) 初始值：無負載時，地面（0）與參考線之垂直距離
- (2) 下陷值：3 小時後，地面（0）與參考線之垂直距離
- (3) 變形量 = 初始值 - 下陷值
- (4) 總承重：26.8 kgw

### 4、結論

裝有搭接配件的中樑在承重時，會因為搭接切割出來的開口造成的結構脆弱而斷裂，因此不適合作為裝有支架設計椅座的中樑。□型與□型相比，□型的結構較為完整，也較能將重力分散至椅座，更適合做為紙板凳的中樑。

### (三) 設計新紙板長凳並製作

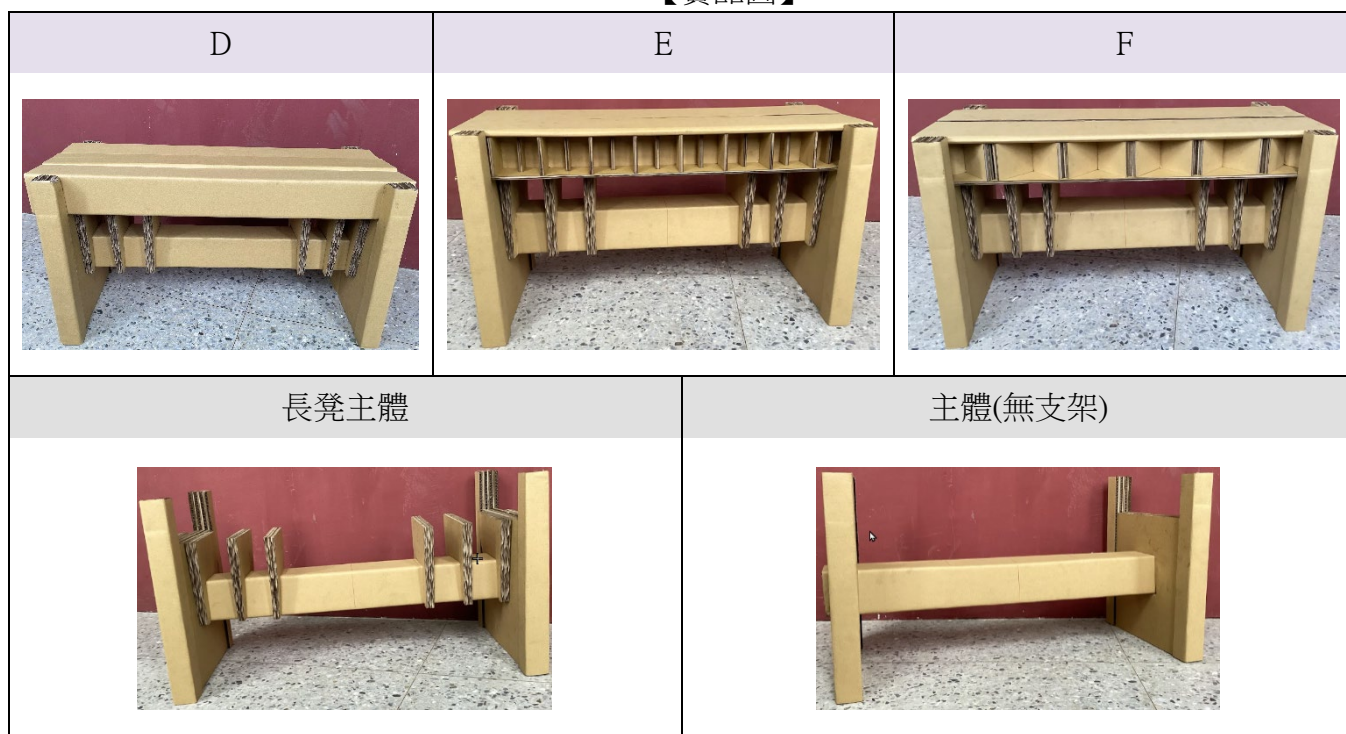
我們根據計畫 C 的缺陷和目的—最後的楞向堆疊實驗再設計了 4 個方案，並製作出了其中 3 個，設計改變及使用材積計算如下：

- 1、將除椅座外所有部件模組化，使各計畫間僅改變椅座設計。
- 2、控制各計畫的耗材避免過大差異，統一控制變因。
- 3、使各部件緊貼，減少公差。
- 4、椅腳改以 6 片楞板堆疊黏結。

5、計算各型使用（消耗）材積量，如下表：

Type D						Type E					
口型						魚骨					
檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計
A1	座面 外	870	490	2	852,600	B1	座面 上	870	310	2	539,400
A2	座面 內	850	435	2	739,500	B2	脊骨	870	75	4	261,000
						B3	肋骨	120	75	36	324,000
						B4	座面 下	870	150	2	261,000
D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	D5	立撐擋板	175	200	24	840,000
D4	口型中樑	870	380	1	330,600	D4	口型中樑	870	380	1	330,600
D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	D1	立板平面	440	386	8	1,358,720
D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200
				合計	4,376,620					合計	4,169,920
				cm2	43,766					cm2	41,699
Type F						Type T					
X型						口型 (中樑)					
檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計
B1	座面 上	870	310	2	539,400	T1	座面	870	340	2	591,600
C1	X型蜂巢	190	75	48	684,000	T2	立撐擋板	295	280	24	1,982,400
B4	座面 下	870	150	2	261,000						
D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	T3	口型中樑	870	290	1	252,300
D4	口型中樑	870	380	1	330,600	T3	十字搭接	90	140	0	-
D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	T4	立板平面	440	386	8	1,358,720
D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200
				合計	4,268,920					合計	4,440,220
				cm2	42,689					cm2	44,402

【實品圖】



#### (四) 各型椅座承重試驗

- 1、我們參考經濟部標準檢驗局在審查課桌椅牢固性的物性檢驗技術，便將其應用在我們改良版的承重測量上：

##### 二、物性檢驗技術簡介

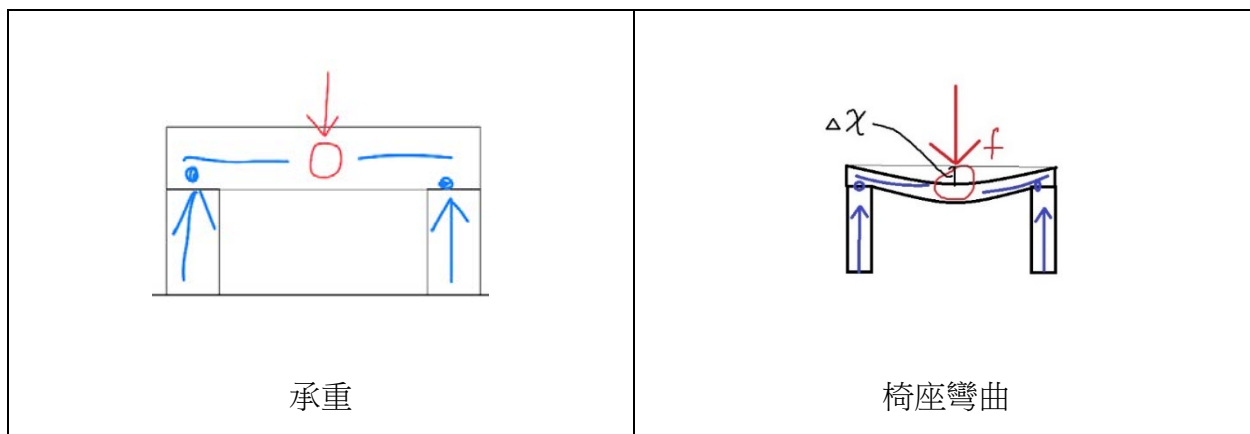
CNS 14430 標準將物性檢驗分成「穩定性」與「強度」兩大類，穩定性檢驗項目包括課桌對垂直作用力及水平作用力之穩定性，課椅之前、側與後方穩定性；強度檢驗項目包括課桌對垂直、水平作用力，持續垂直載重及落下，課椅椅座與椅背之強度、耐久性及耐衝擊性，課椅前、側方強度及落下，逐一簡介於下。

##### (一) 課桌對垂直作用力之穩定性試驗 (依 CNS 14430 第 8.2.1 節)

1. 試驗目的：模擬課桌面之非幾何中心位置上承受垂直作用力之後，檢查課桌是否有傾倒現象。
2. 試驗設備：檔塊、課桌椅萬能試驗機、課桌試驗用墊板 (如圖 1)
3. 試驗程序：
  - (1) 使用檔塊擋住桌面長邊之桌腳。
  - (2) 在檔塊處桌面之長邊的中心，離桌面邊緣 50mm 的位置，在課桌試驗用墊板加載 45kg 重錘。並在此狀態下，沿著桌子之前緣向前延伸之水平線施加 20N 力拉伸。
  - (3) 在檔塊處桌面之短邊的中心，離桌面邊緣 50mm 的位置，在課桌試驗用墊板加載 45kg 重錘。

「普通教室用課桌椅」物性檢驗技術簡介，標準檢驗局檢驗技術簡訊  
第 4 2 期

#### 2、力學分析圖



### 3、口型與冂形椅座承重測試

- (1) 座面截面 300 x 100
- (2) 中樑截面 100 x 100
- (3) 各組件說明與材積試算如下表：

型別	【座面】 概述	長	寬	數量	材積小計 cm <sup>2</sup>
口型	單片四折，開（裂）口位於正下方中央，與腳同材質、厚度填實中間空洞	870	380	3	9,918
冂型	開口位於正下方與腳嵌縫緊實	870	345	2	6,003

型別	【中樑】 概述	長	寬	數量	材積小計 cm <sup>2</sup>
口型	開（裂）口位於正下方中央，以與腳相同材質、厚度填實	870	380	1	3,306
冂型	開口位於正下方，與腳嵌縫緊實	870	290	1	2,523

型別	【立撐擋板】 概述	長	寬	數量	材積小計 cm <sup>2</sup>
口型	倒立梯形嵌件，上底與座面下緣緊貼，下底開口與中樑之上緣及左右立面緊貼，由 3 片楞板併貼成 1 組，共 8 組	200	200	24	9,600
冂型		295	280	24	19,824

### 3、口型與冂形椅座承重操作步驟

- (1) 於受試體（座面、中樑）上緣中點畫測量參考線 x1
- (2) 受試體平放於地面，確認腳與地面呈垂直
- (3) 受試體安全間距 1.5M，將負載平放於受試體前地面預備
- (4) 校對時間（開始測試），紀錄環境溫度°C 及相對溼度 RH%
- (5) 將負載平放於受試體參考線範圍內，並確認水平
- (6) 開始計時，預計測試時間 24 Hr
- (7) 記錄受試體因負載下陷值，計算變形量
- (8) 安全移除負載

### 4、口型與冂形椅座承重定義

初始值：無負載時，地面（基準 0）與座面、中樑參考線之垂直距離

下陷值：24 小時後，地面（基準 0）與座面、中樑參考線之垂直距離  
 變形量 = 初始值 - 下陷值

總承重：79.6 kgw

單位：cm

型別	模組功能	初始值	下陷值	變形量	備註
□型	座	43.9	42.1	1.8	28.6 °C RH 66% 29.8 °C RH 63%
	中樑	23.9	23.1	0.8	
□型	座	44.3	42.5	1.8	
	中樑	23.6	21.9	1.7	

#### 5、□型與□形椅座承重結論

□型與□型椅座的變形量相同，不過□型的中樑變形量卻超過□型的兩倍，可知□型椅座是靠著中樑在支撐，□型卻能更好的將重量向兩側椅腳傳遞，因此新的□型設計有比舊的□形設計更高的承重能力。

#### 6、計畫 D~F 承重測試

中樑截面 100 mm x 100 mm，長 870 mm，數量 2，水平對臥併攏。

立撐擋板 375 mm x 200 mm，對切梯形，3 片楞板堆疊黏結為 1 組，共 8 組。

#### 7、計畫 D~F 承重操作步驟

- (1) 紀錄環境溫度 °C 及相對溼度 RH%
- (2) 於受試體畫參考線：座面上緣
- (3) 受試體平放於地面，安全間距 1.5M
- (4) 將負載平放於受試體前地面預備
- (5) 校對時間
- (6) 將負載平放於受試體參考線範圍內，並確認平衡
- (7) 開始計時，測試時間 24HR
- (8) 時間截止，測量記錄受試體因負載致變形量值

#### 8、計畫 D~F 承重定義

- (1) 初始值：無負載時，地面（0）與座面、中樑上緣中點之垂直距離
- (2) 下陷值：24HR 後，地面（0）與座面、中樑上緣中點之垂直距離
- (3) 變形量：初始值 - 下陷值（單位 cm）
- (4) 優劣排序：以兩項序位加總，最低者為最優
- (5) 總承重：26.8 kgw

#### 10、座面型別、結構與材積試算：

型別	結構 概述	長 mm	寬 mm	數量	小計 cm <sup>2</sup>	合計 cm <sup>2</sup>
□型	內外雙層，開 （裂）口交錯	870	490	1	8,526	15,921
		870	435	1	7,395	



X 型	上層對摺成雙層 AB 楞，中層 X 型 搭接併排，下層單層 AB 楞	870	310	2	5,394	14,844
		190	75	48	6,840	
		870	150	2	2,610	
魚骨型	上層對摺成雙層 AB 楞，中層脊骨 由 9 組十字搭接長 短交錯，下層單層 AB 楞	870	310	2	5,394	13,854
		870	75	4	2,610	
		120	75	36	3,240	
		870	150	2	2,610	

測試結果：

型別	初始值	下陷值	變形量	序位	序位加總	總序位	備註
口型	44	43.5	1.5	1	2	1	29.3°C RH 66% 28.4°C RH 72%
	25	23.1	1.9	1			
X 型	44	41.9	3.1	3	5	2	
	25	23.0	2.0	2			
魚骨型	44	42.3	1.7	2	5	2 <sup>+</sup>	
	25	22.9	2.1	3			

【照片】



#### 9、計畫 D~F 承重結論

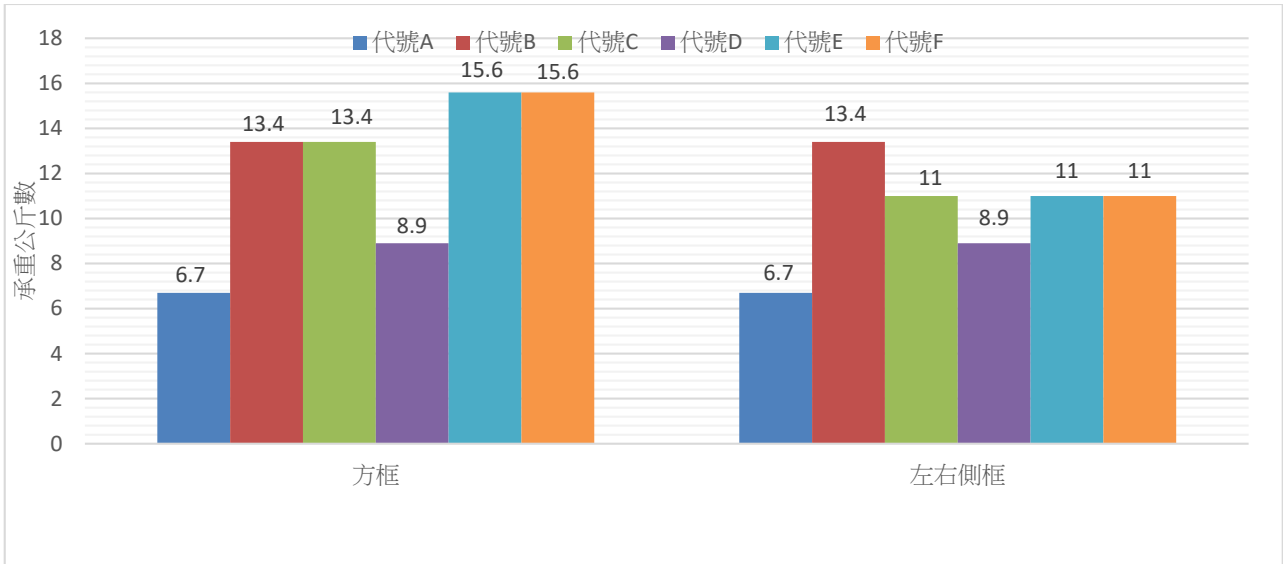
在新的三個計畫中，下陷最少的是口型的設計。我們認為下陷值與椅座的整體性有關，X 型的結構之間是分開的，魚骨型有脊骨作為兩端的支撐與連結，口型則是直接將兩端相連，中間沒有分開的部分，而這也正是椅座下陷值的序位。

## 肆、研究結果

一、目的一：測量瓦楞紙版不同楞向的承載能力

我們的椅座設計較近似於左右側框，因此橫跨側框同向堆疊 AB 楞的代號 B 比較適合我們。

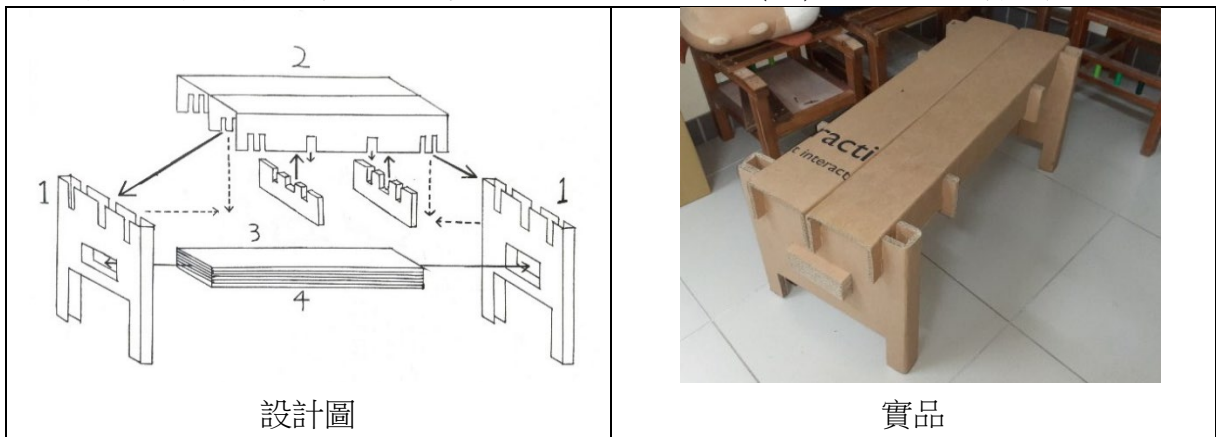
單位：kgw



二、目的二：自製紙板長凳並進行承重測試

(一) 設計紙板長凳並製作

初始紙板長凳尺寸為：長\*寬\*高\*=90\*40\*40±1.5 (cm)，由三個部件組成。



(二) 試驗紙板長凳承受重量前後之曲度變化

紙板長凳承重後椅面中心下陷了 6.7 mm，證明有許多可改進的地方。

三、目的三：更新設計並進行承重測試

(一) 發現設計缺陷

問題一：椅座中段嚴重彎曲、凹陷。

問題二：各計畫設計差異太大，製作麻煩。

問題三：公差過大導致左右搖晃及切割困難。

(二) 中樑設計承重試驗

□型中樑的下陷比口型多出 1.8cm。與口型與□型相比，口型的結構較為完整，也較能將重力分散至椅座，更適合做紙板長凳的中樑。

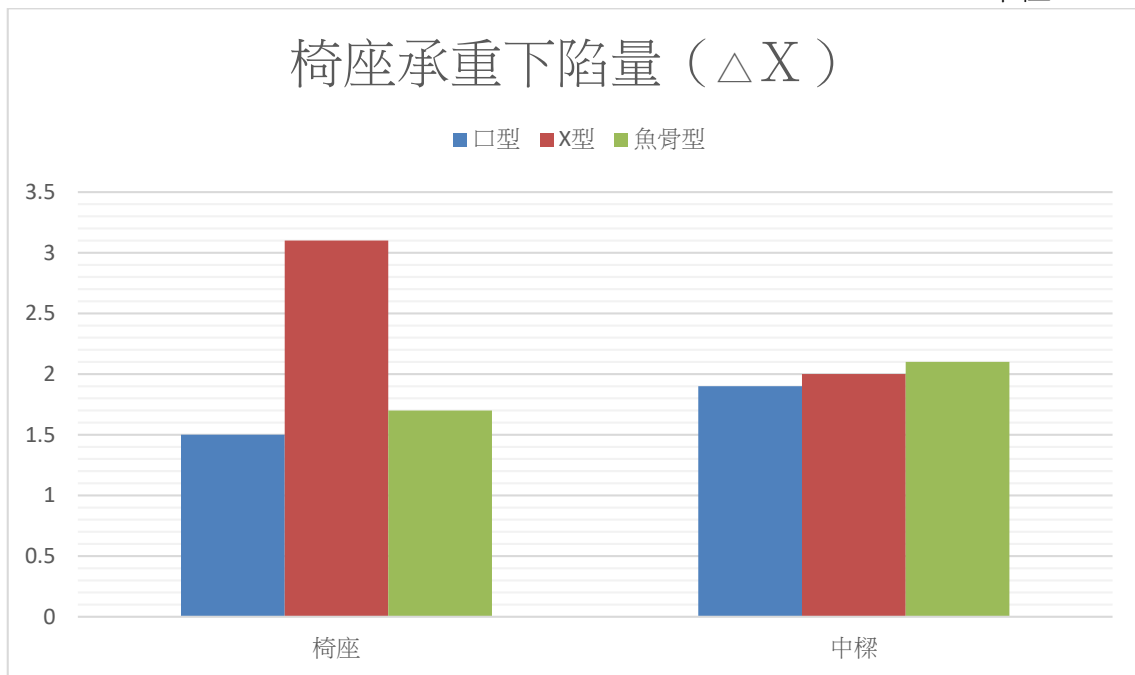
(三) 設計新紙板長凳並製作



(四) 各椅座設計承重試驗

承重 79.6kgw，靜置 24hrs 後之椅座下陷量，我們發現椅座的牢固性與整體性有很大的關係，結構之間互相連結才會有比較好的承重能力，若結構之間是分開的就無法由椅腳有效支撐。

單位：mm



## 伍、討論

### 一、椅腳位移測量誤差

(一) 我們測量椅腳位移的方式是在長凳底下放置一條長一公尺的鐵尺，將兩邊數據相減得出兩椅腳間的寬度。不過在第一輪測試中將 A 3 紙取下進行測量時，長凳總是會移動，而我們使用的紙膠帶也沒辦法將鐵尺黏牢。因此我們在第二輪測試中，我們將兩張椅子移至地面，重物更好搬動，也比較不容易移動到椅子。

(二) 為了減少可能因為接觸摩擦阻力影響位移量，我們在椅腳與桌面/地面的接觸面，鋪設烘焙紙。

### 二、濕度

因為基隆常常下雨，導致相對濕度很高，造成紙板面材軟化。因此我們需要把椅子放在通風的空間，才不會因為濕度而軟化，造成測量時的誤差。

2021年 月均相對濕度 RH%

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RH %	76	78	90	86	88	81	83	88	84	88	87	77

資料來源：交通部氣象局每月氣象

### 三、測量椅面沉陷時的誤差

(一) 我們測量椅面沉陷量是以高度規目視測量，因此測量時發現紙板回彈、手動目視測量誤差兩個造成誤差的問題

(二) 測量前移除椅面上紙箱後，椅面會因彈性而造成紙板回彈，影響判準，且測量時因為高度規測點與釣魚線僅可「輕微」接觸，不可將其下壓影響判讀。

(三) 針對「1.紙板回彈」的減誤對策，我們以最快速度完成測量後即置回紙箱。

(四) 針對「2.手動目視測量誤差」的減誤對策，則以背景光源(LED白光)照射釣魚線，檢視高度規測點與釣魚線的接觸壓力變形量，讀取其中間值。



### 四、公差

製作需要組合的物品時，都會有一個必須要控制的問題，就是公差。我們原本以手工製作，在切割和折彎紙板時沒有足夠的方法減少公差，所以我們改用雷射切割機來裁切紙板以精準控制公差。在需要折彎的配件折彎處內部割出3道溝槽也可以更容易折彎。

## 陸、結論

一、與常見的紙板相比，五層A A楞的承重量很大，而且我們使用的A A楞是進出口的紙箱上取的，面材磅數及結構強度超過其他的紙板類型。在A A楞紙板不足的情況下，我們跟紙板公司訂製A B楞，雖然A B楞的強度沒有A A楞強，但優良的結構排序也可以讓它貼近A A楞的強度。

二、我們初始的設計沒有思考可能的缺點，導致在做出來之後出現嚴重的支撐力不足以及椅腳歪斜等問題，這顯示出原本的設計的不可行性且有著極大的缺陷。為此我們針對原設計的數個缺陷提出了三個改良計畫，試圖改善上述的幾個問題。

三、計畫E和計畫F的設計相似，但經過測量計畫E的承重性能比計畫F好，因為計畫E的中央支撐是連結著椅座兩端，不易造成中間凹陷，而計畫D是使用兩條方框製成的，椅座的結構完全沒有中斷，更容易由兩側支撐住中間。從三個計畫的關係中發現：椅座的牢固性與整體性有很大的關聯。

## 四、總結

紙板是一種可以由適當加工，使之形成堅固、用途多的材料，也可以重複再製；紙板也是一種軟性材質，當密合度更高時反而會有更高的力量傳導能力。我們提出改良計畫，為了讓成品能達到更貼近於日常生活中的椅子，在未來我們也更希望把瓦楞紙板製作成更多用途、種類的東西，減少塑膠等物質的使用量，以達到環保且實用的目的。

## 柒、參考文獻資料

### 一、瓦楞紙怎麼區分

<https://www.lovelybox.net/knowledge/2d8924a3-6023-40bb-b85e-d8a9bd84b029>

### 二、瓦楞紙的種類特性

<https://boxlife.com.tw/knowledge/detail.php?nid=2&nowpage=1>

### 三、環保材料 —— 那些不常見的紙板材質設計

<https://kknews.cc/zh-tw/home/4myeb8v.html>

### 四、設計日誌 瓦楞紙怎麼區分

[LovelyBox 美好物件](#)

### 五、日本曾經好評如潮的紙板床，為何淪落為處處槽點？

<https://kknews.cc/zh-tw/sports/kp8og6vhtm>

### 六、「普通教室用課桌椅」物性檢驗技術簡介，標準檢驗局檢驗技術簡訊

第 42 期，2014 年 5 月

<https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Data/f1457309412663.pdf>

### 七、交通部氣象局每月氣象

<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlydata.html>

### 八、各種傳統榫接圖示及用途說明

<https://www.exfo.ntu.edu.tw/factory/WUFPublication/100joins20160114.pdf>

## 【評語】 032920

1. 本作品透過不同的設計方案與實作成果的瓦楞紙長凳進行了多次的測試，證實了紙製家具的實用性與可行性。
2. 參賽者從失敗的實驗持續優化，為減少研究的誤差，把紙凳的組成模組化，是好的控制方式。
3. 能夠探討設計作品中變形處的物理量，值得鼓勵。
4. 作品的研究主題立意佳、實驗設計的科學適切性佳。
5. 建議多著墨力學原理、降低增重級距，強調作品特點等。

## 作品簡報



# 你以為紙板很弱？

## 紙板承重與紙板家具製作



Grand Finale Nine!

科 別：生活與應用科學(二)  
組 別：國中組

# 前言：研究問題

研究目的：

- 一、測量瓦楞紙版不同楞向的承載能力
- 二、自製紙板長凳並進行承重測試
- 三、更新設計並進行承重測試

(1) 二層裱褙：只由一層「表紙」與一層「芯紙」裱褙而成



(2) 三層裱褙：由上下兩層「表紙」與一層「芯紙」裱褙而成

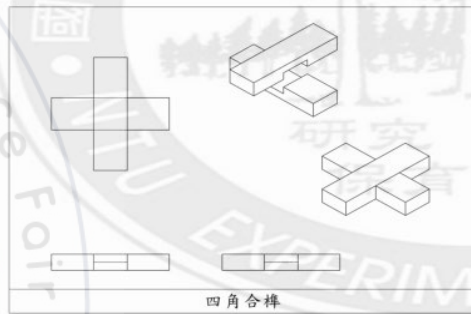


(3) 多層裱褙：多層瓦楞基本上是由上述幾種瓦楞貼合而成。



➤ 中文名稱：十字搭接（四角合榫）

➤ 用途說明：



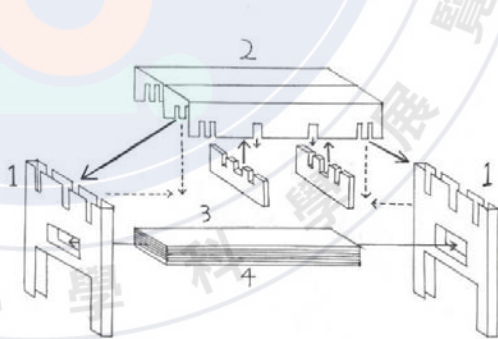
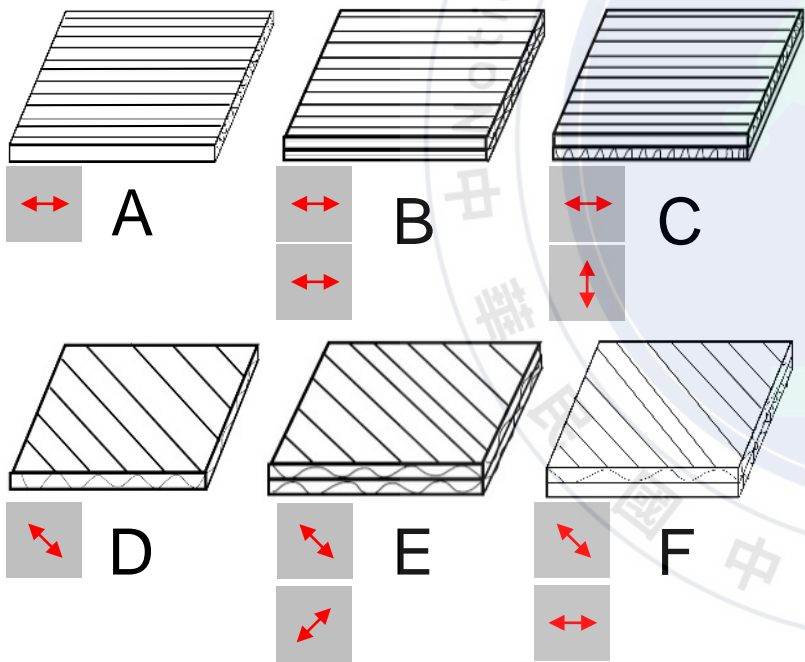
紙板類型		厚度(±0.3mm)
雙層瓦楞	F楞	0.8mm
三層瓦楞	A楞	4.5mm
	B楞	2.5mm
	C楞	3.5mm
	E楞	1.1mm
五層瓦楞	A B楞	8mm
	A A楞	10mm

# 研究方法

一、目的一：測量瓦楞紙版不同楞向的承載能力  
為了補足AB楞與AA楞的強度差別，我們決定做關於楞向堆疊排列方式對於其承載能力的測試。

二、目的二：自製紙板長凳並進行承重測試

- (一) 設計紙板長凳並製作
- (二) 試驗紙板長凳承受重量前後之曲度變化

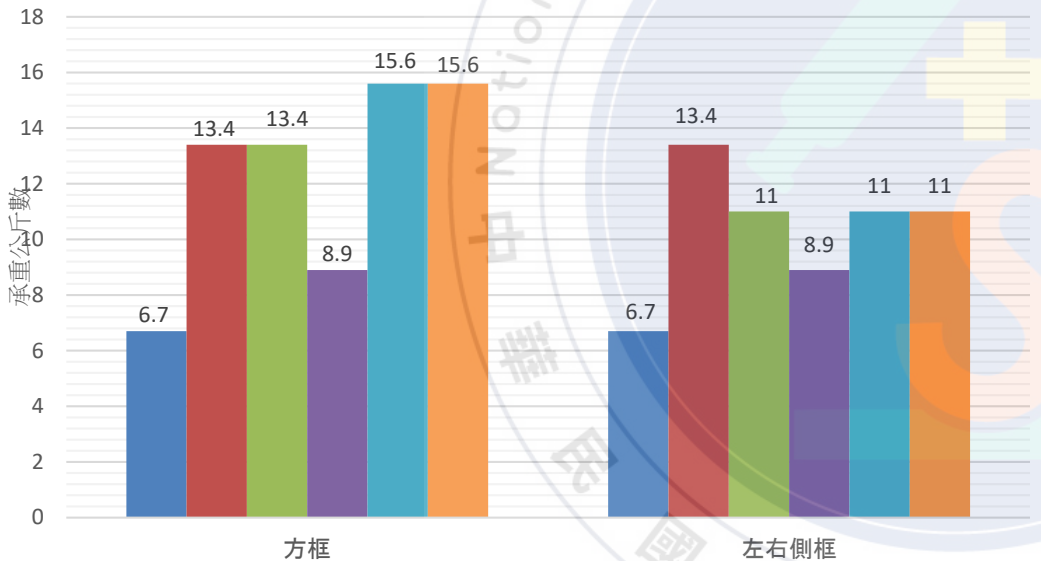


# 研究結果

一、目的一：

測量瓦楞紙版不同楞向的承載能力

(垂直作用力之穩定性試驗)



以紙張代替砝碼



盛盤

紙板

框



方框



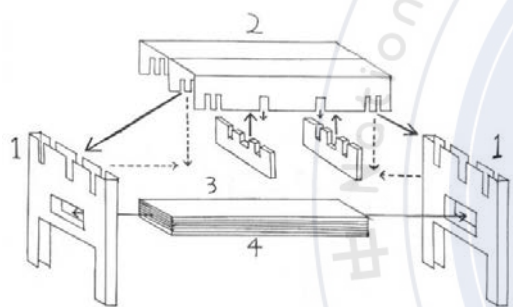
側框

■ 代號A ■ 代號B ■ 代號C ■ 代號D ■ 代號E ■ 代號F

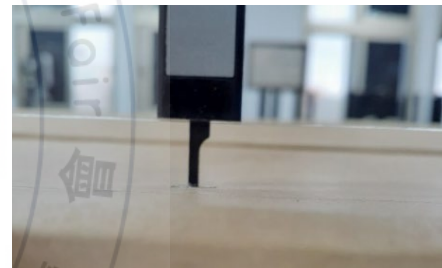
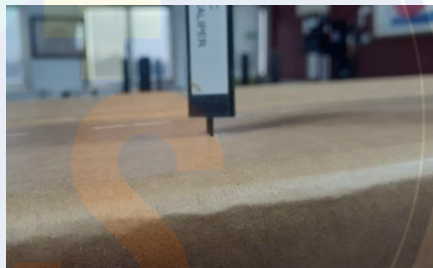
# 研究結果

二、目的二：自製紙板長凳並進行承重測試

初始紙板長凳尺寸為：長\*寬\*高\* = 90\*40\*40±1.5 (cm)，由四個部件組成。



設計圖



實品



承重前  
5.9mm



承重後  
12.6mm

# 研究結果解釋



目的二：

紙板的承重結構強度很大部分取決於**楞向**，我們整合出六種楞向排列進行承重測試，結果以**同向雙層**的楞向排列最強，並且根據其結果設計紙板椅。

目的二：

初始設計中有許多缺失，**下陷嚴重**致幾乎無法自行回復，導致使用壽命很短。

## 測量環境問題：濕度

因為基隆常常下雨，導致相對濕度很高，造成紙板面材軟化。因此我們需要把長凳放在通風的空間，才不會因為濕度而軟化，造成測量時的誤差。

2021年月均相對濕度RH  
資料來源：交通部氣象局每月氣象

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RH%	76	78	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	<b>81</b>	<b>83</b>	<b>88</b>	<b>84</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	77

# 研究方法

三、目的三：更新設計並進行承重測試

(一) 發現設計缺陷

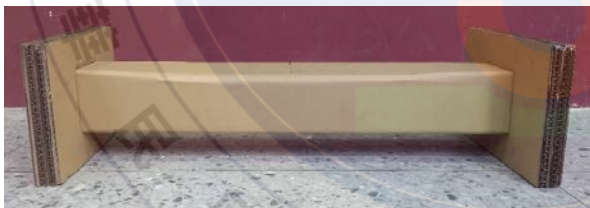
(二) 中樑設計承重試驗



□型



□型



# 研究方法

- 三、目的三：更新設計並進行承重測試
- (三) 設計新紙板長凳並製作
  - (四) 各椅座設計承重試驗

椅座型別	初始值 cm	下陷值 cm	變形量 cm	序位	序位 加總	總序位	備註
口型	44	43.5	1.5	1	2	1	實驗開始 29.3°C RH 66%  實驗結束 28.4°C RH 72%
	25	23.1	1.9	1			
X型	44	41.9	3.1	3	5	2	
	25	23.0	2.0	2			
魚骨型	44	42.3	1.7	2	5	2+	
	25	22.9	2.1	3			



口型



X型



魚骨型

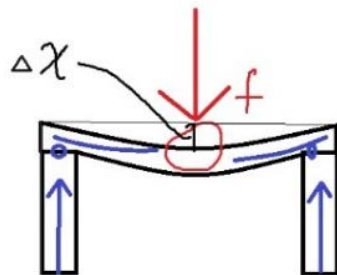


# 研究結果

三、目的三：更新設計並進行承重測試

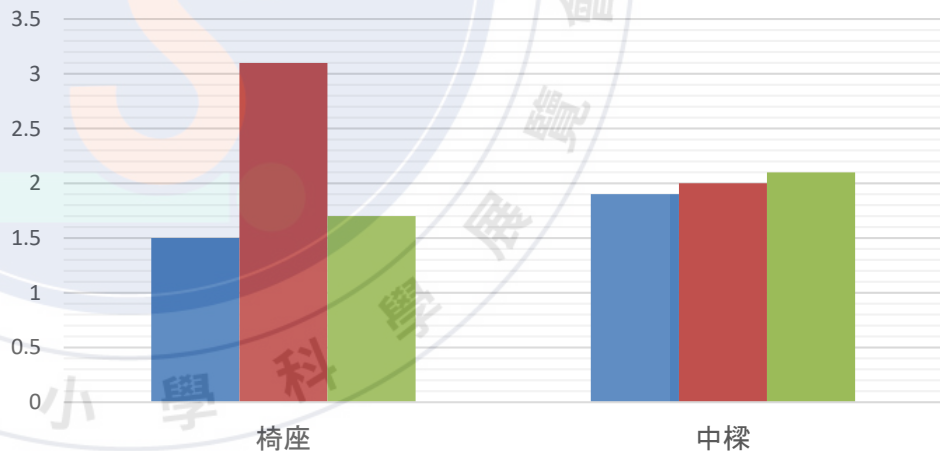
(三) 設計新紙板長凳並製作

(四) 各椅座設計承重試驗



椅座承重下陷量 ( $\Delta X$ )

■ 口型(計畫D) ■ X型(計畫F) ■ 魚骨型(計畫E)



口型  
D計畫



魚骨型  
E計畫



X型  
F計畫



# 研究結果解釋

目的三：

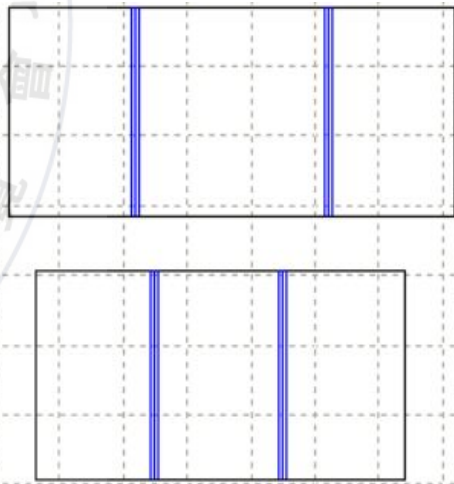
- (三) 設計新紙板長凳並製作
- (四) 各椅座設計承重試驗

我們認為：

下陷值與椅座的整體性有關，因為下陷量最多的F計畫（X型）結構間是分開、沒有相連的；下陷最少的D計畫，則是一體成形的口字型設計並且結構中間沒有斷開。

## 製作問題：公差

在討論物品的組合時，都會有公差問題。我們原本使用手鋸與美工刀裁切和折彎紙板，不過公差因此大大增加。所以我們改用雷射切割機裁切紙板以精準控制公差，在折彎處（谷線）割出3道溝（間距3mm）也可以更容易折彎且不致失準。



# 研究結果解釋

目的三：

## 設計問題：材積差

計畫C使用材積較計畫B多約 $1.5\text{m}^3$ ，無法精確比較結構強度。圖中圈起部分為三個計畫的總使用材積，三個計畫的使用材積差約 $1,000\sim 2,000\text{cm}^2$ (1~2才)，不過對椅座的承重能力影響不予討論。

Type D						口型		Type E						魚骨				
檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計	
A1	座面 外	870	490	2	852,600	B1	座面 上	870	310	2	539,400	B2	脊骨	870	75	4	261,000	
A2	座面 內	850	435	2	739,500	B3	肋骨	120	75	36	324,000	B4	座面 下	870	150	2	261,000	
D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	
D4	口型中樑	870	380	1	330,600	D4	口型中樑	870	380	1	330,600	D4	口型中樑	870	380	1	330,600	
D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	
D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200	
					合計						合計							
					cm2	43,766						cm2	41,699					
Type F						X型		Type T						口型 (中樑)				
檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計	檔名	概述	長	寬	數量	小計	
B1	座面 上	870	310	2	539,400	T1	座面	870	340	2	591,600	T2	立撐擋板	295	280	24	1,982,400	
C1	X型蜂巢	190	75	48	684,000													
B4	座面 下	870	150	2	261,000													
D5	立撐擋板	175	200	24	840,000	T3	口型中樑	870	290	1	252,300	T3	十字搭接	90	140	0	-	
D4	口型中樑	870	380	1	330,600													
D1	立板平面	440	386	8	1,358,720	T4	立板平面	440	386	8	1,358,720	T4	立板平面	440	386	8	1,358,720	
D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200	D2	端面外包	440	145	4	255,200	
					合計						合計							
					cm2	42,689						cm2	44,402					

# 結論

一、紙板是一種堅固、用途多的材料，可以重複再利用，紙板也是一種軟性材質，密合度更高時也會有更高的力量傳導能力。

二、與常見的紙板相比，A A 楞的承重量很大，雖然A B 楞的強度沒有A A 楞強，但優良的結構排序也可以讓它貼近A A 楞的強度，而椅座的牢固性與其整體性有很大的關聯。

三、紙板做的椅子可以大幅減少塑膠等物質的使用量，希望可以推廣用紙板製成的家具，以達到真正的減塑環保。

## 參考資料及其他

瓦楞紙怎麼區分

<https://www.lovelybox.net/knowledge/2d8924a3-6023-40bb-b85e-d8a9bd84b029>

「普通教室用課桌椅」物性檢驗技術簡介，標準檢驗局檢驗技術簡訊

第42期 2014年5月

<https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Data/f1457309412663.pdf>

交通部氣象局每月氣象

<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlydata.html>

各種傳統榫接圖示及用途說明

<https://www.exfo.ntu.edu.tw/factory/WUFPublication/100joins20160114.pdf>