

「魯」巧天成 「班」關相扣—— 從傳統魯班鎖到現代生活美學的榫卯結構設計

研究者：李宥霓、陳品潔、趙奕婷

指導老師：蔡佩蓉老師

研究摘要

魯班鎖是一種充滿智慧與創意的益智遊戲，在本研究中除了透過文獻資料的蒐集與整理，深入瞭解魯班鎖的發展起源，分析與討論其中所包含的榫卯結構設計。研究歷程中以不同材料(木材、泡沫板、積木、塑韌板等)進行嘗試製作，選定適合材料後設計榫卯結構，將結構轉化為生活小物設計，讓更多人可以認識與體驗榫卯結構之工藝價值與趣味性。

第一章 緒論

一、研究動機

魯班鎖是中國古代一種充滿智慧與創意的益智遊戲，我們之前都有玩過魯班鎖的經驗，很好奇在沒有釘子和繩子的情況下，要如何將木頭穩定地固定在一起呢？此外，古時候有「莫奈何」、「難人木」等名稱的魯班鎖有許多不同結構設計，這些有趣又不一樣的結構也會影響拆解的困難度與挑戰性，因此我們想要探究魯班鎖的基本結構為何？除了探究其中的結構設計以外，我們也很想要挑戰是否可以將其不易拆解的特性結合於生活用品中，延伸出更多創意的用途，於是一番討論後就選定它作為我們的研究主題。

二、研究目的

1. 深入瞭解魯班鎖的發展起源。
2. 探究魯班鎖的結構設計。
3. 運用榫卯結構設計於生活用途之中。

三、研究問題

1. 魯班鎖的起源為何？
2. 魯班鎖的種類有哪些？有哪些結構設計？
3. 哪些材料適合製作榫卯結構？可以如何設計與運用呢？

四、名詞解釋

1. 榫卯結構：是一種傳統建築結構，凸出來的部分叫做榫，而凹下去的部分就叫做卯。
2. 魯班鎖：通常由 6 根或 9 根木條組成，每根木條上透過凹凸咬合的方式垂直相交固定，其結構穩固，組裝時不需要任何釘子或膠水，可自由拆解和組裝。

第二章 文獻參考

一、魯班鎖的起源與發展

「魯班鎖」是一款很早就在中國民間流傳的腦力激盪遊戲，據說是春秋時代一位名魯班的為魯國工匠，所以研發出發透過六根木頭製作而成，可以拆卸與可拚裝組合的器具。到了三國時代，諸葛孔明先生根據魯班設計的基礎下，結合了八卦玄學的原理進行改良，對應了易經中的「六十四卦」，精密且環環相扣的特性，被認為與八卦陣法的玄機相似，因此又稱為「孔明鎖」。

19世紀初在德國的玩具目錄中曾出現「ALTEKRUSE」的插木玩具，其意思為「老十字」，在紀錄中是由12塊相同的插木所組合而成的，其體積較大，但其難度不高。在20世紀早期魯班鎖曾經風靡西方，但很多資深的玩家覺得魯班鎖的變化不多，在1970年代美國的數學家比爾·庫特運用電腦研究出魯班鎖的各種變化與組合玩法，也增添了魯班鎖的複雜結構與組合難度。

二、結構與原理

魯班鎖的主要結構是透過豎、立和橫這三個方向來連線與支撐，以及各一組兩根的凹凸相對木桿咬合，形成內部榫卯相扣的立體結構，從整體外觀看來就會呈現十字形狀的立方體，如圖 2-1。最早紀錄魯班鎖的書面資料是出現在清代桃花仙館主人唐芸洲所著《鵝幻彙編》中，其中內容提到它是經由六根分別稱之為古代六藝之名「禮、樂、射、御、書、術」的短木組成，五根短木在中間部分會有缺口之設計，組合時以缺口相互扣合，呈現十字形狀的雙交結構，因為其外型特色在書中將它稱之為「六子聯芳」，如圖 2-2。



圖 2-1

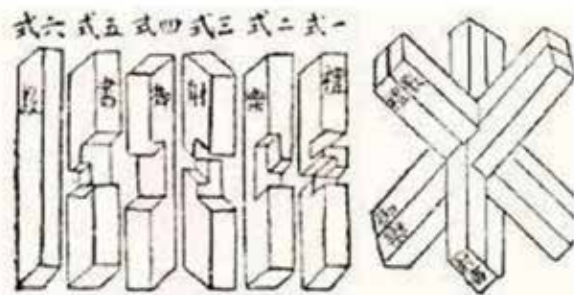


圖 2-2

(一)基本結構

目前一般常見的魯班鎖結構的呈現多是由六支之組件所構成，如圖 2-3 所呈現的情況；在每一根的組件中有凹下去的部分稱為「卯」，凸出的部分稱為「榫」。在這六支之組件的組合過程中，方法是藉由組件們彼此相互穿插，以榫卯的組合方式，形成一種以十字形狀雙交的結構。

在魯班鎖的組件中，一定有一根完整沒有凹凸的組件，它是作為最後一個組合的組件，藉此使整體結構可以穩定，因此具有「鎖」結構的特性，也因為這個特性，這個唯一沒有凹凸設計的組件也就被稱為「鎖棍」，如圖 2-4。

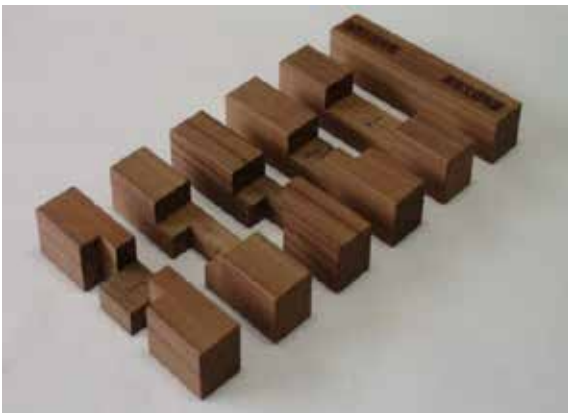


圖 2-3







圖 2-4

(二)結構分類

魯班鎖主要依據其中結構組合的根數和內部結構的複雜度進行分類，其分類說明如下。

1. 依照組件根數分類

三根型	六根型	九根型	多根型
			
又稱為「三通」結構相對簡單，適合作為入門。	最經典且廣為流傳的種類，以 3 組平行木條垂直交錯組成。	也稱為「梅花鎖」，通常包含 3 根長木條與 6 根短木條。	通常採 4-4-4 的組合形式，外觀呈現多個「井」字交錯，又稱井字鎖。

2. 按結構榫卯形式分類

實心（封閉式）：表面結構嚴密，內部榫卯咬合完全。

空心（開放式）：結構中帶有空隙，解鎖難度通常較低。

三、魯班鎖的解法

在益智遊戲中魯班鎖的結構多樣性高，因此在解法上也較為複雜，我們根據市售常見的魯班鎖之解法進行以下之說明與介紹。

（一）抽根法：只要找到那根關鍵的「滑桿（俗稱為牙）」，一拔出來整個結構就鬆動了，這是最傳統的魯班鎖類型，如下圖。



（二）錯開法：沿某軸平行錯動，然後就可以拆掉一根木條，接著再拆其他的。



(三)旋轉法：先旋轉某根才能拆掉一根。

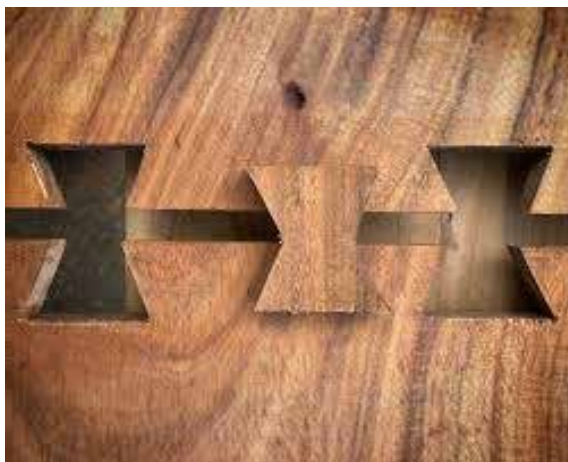


四、榫卯結構在生活中的應用

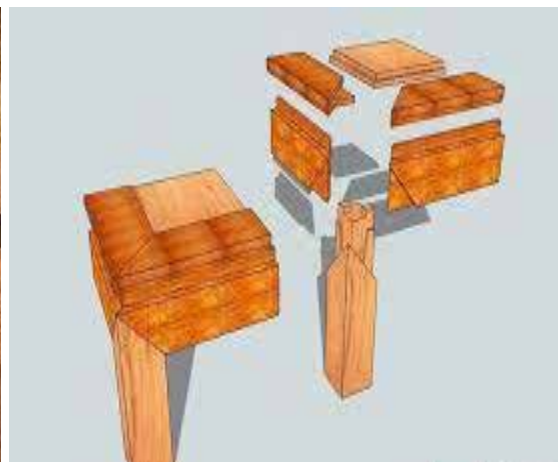
榫卯結構不僅益智玩具設計的重要結構，更是古代建築與家具的靈魂，雖然現代多使用釘子或膠水，但是「不用一釘一鐵」的智慧在現代生活中依然隨處可見，我們將榫卯結構在現代生活中的應用與說明，內容如下。

(一)傳統與現代家具設計

木製家具為了防止木材因熱脹冷縮而開裂，會使用「燕尾榫」或「抱肩榫」。這不僅是為了美觀，更是為了結構的穩固與耐用。現代的 DIY 組裝家具（如 IKEA 的某些系列）雖然使用螺絲，但也使用了榫卯的概念，透過預留的孔洞與凸起進行快速定位，以利安裝家具。



▲燕尾榫



▲抱肩榫

(二)現代建築與公共藝術

榫卯結構的受力均勻，具有極佳的抗震性，在日本與北歐的公共圖書館或體育館使用大型木材，以現代精密加工的榫卯進行拼接，既環保又能抵抗強震，如日本高知縣檜原木橋博物館。而在 2010 年時上海世博會的中國館，其核心結構即是巨大的「斗拱」疊加，運用榫卯結構體現了空間與重力的完美平衡。



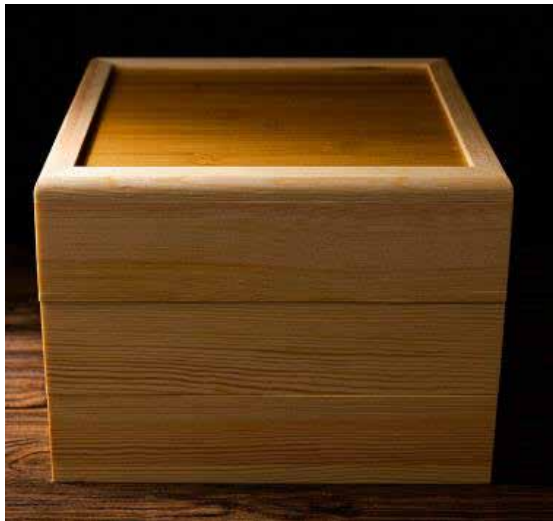
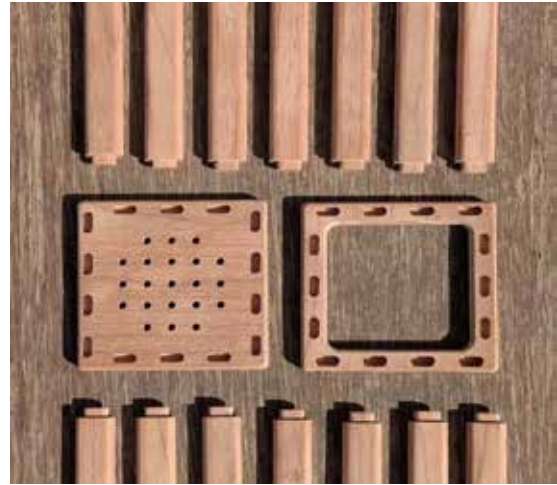
▲日本高知縣檜原木橋博物館



▲ 2010 年上海世博會的中國館

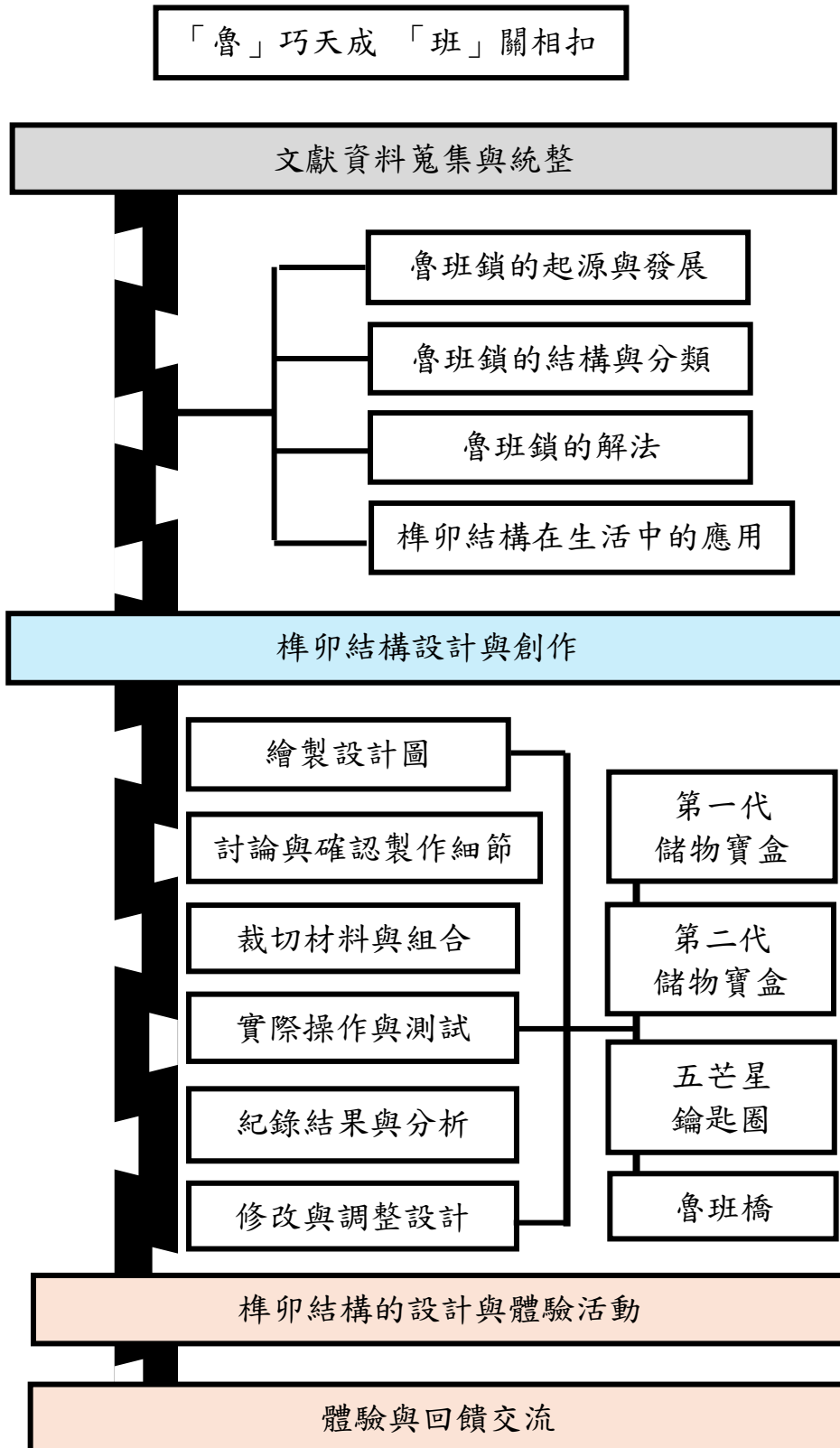
(三) 榫卯結構之應用

榫卯結構因其結構嚴密，常被轉化為生活樂趣。除了最著名的「孔明鎖」（魯班鎖）益智遊戲以外，在生活物品中也常利用簡單的凹槽嵌合，不需螺絲即可穩固支撐，如日式便當盒、榫卯餐具筒等。



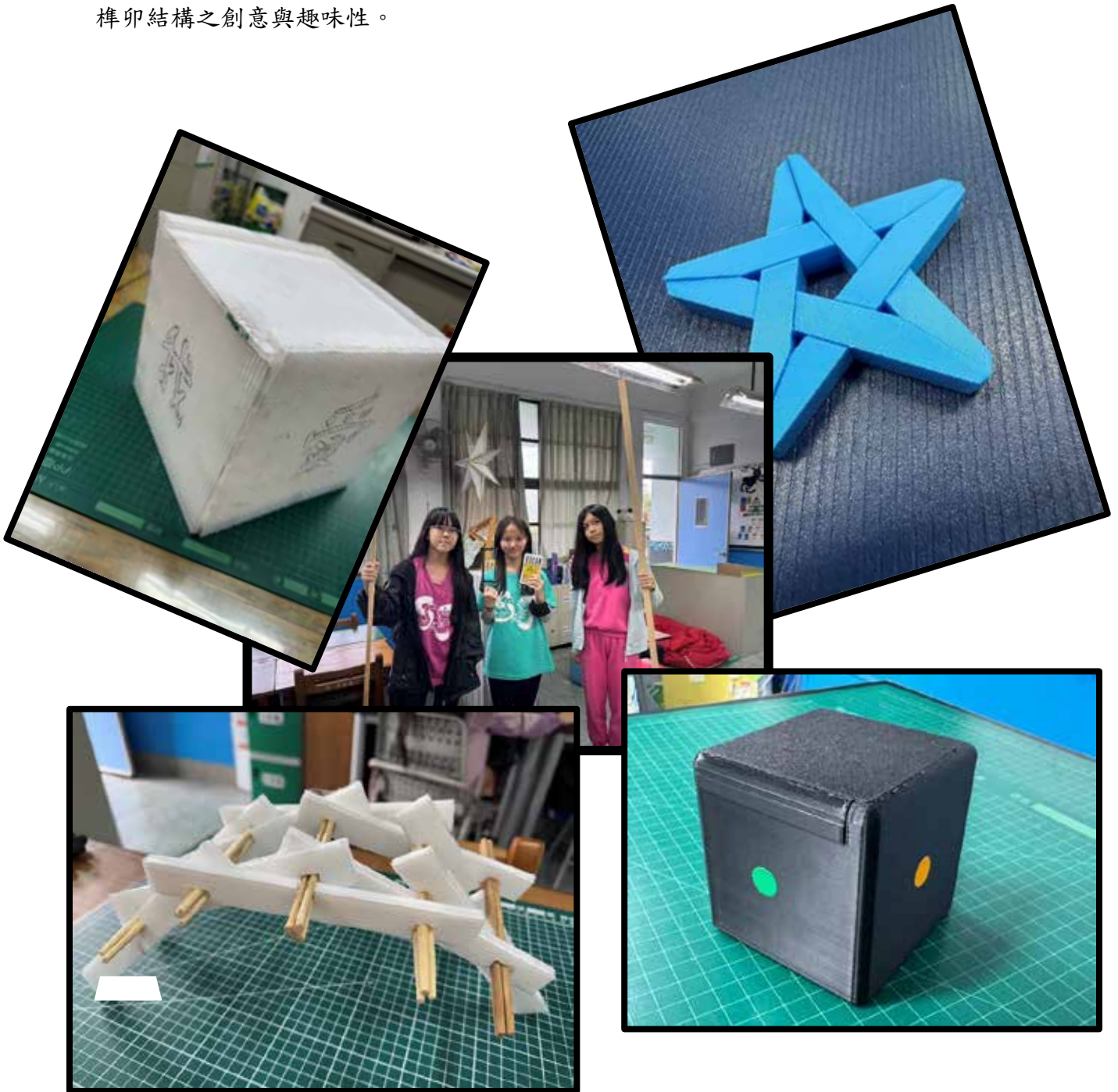
第三章 研究方法

一、研究流程



二、研究方法

由於榫卯結構的歷史發展年代久遠，是古時候人們的智慧結晶，且跨越中西方廣大的地域，從許多文獻資料可見榫卯結構很早就融入我們的生活之中。本研究透過收集並整理文獻資料，深入瞭解魯班鎖的發展起源，並討論與分析榫卯結構的設計。在研究中嘗試使用不同的材料(木頭、泡沫板、PP板和積木)去製作榫卯結構，並運用榫卯結構來設計生活小物，讓更多人可以認識與體驗榫卯結構之創意與趣味性。



第四章 創作歷程與成果

一、創作歷程

(一) 尋找適合材料

我們一開始先查找了許多製作魯班鎖相關的資料，發現很多設計與研究中都選擇以木材作為製作材料，為了找尋適合的材料，我們決定嘗試以不同材料去製作三通魯班鎖，製作後比較各種材料的優缺點，再選用最適合的材料去製作與設計榫卯結構。

1. 第一次嘗試

一開始選擇木材做為材料，因為市面上的魯班鎖幾乎都是用木材做的，因此我們選擇松木來製作，主要原因是其質地輕軟、價格親民，且加工容易。問題：發現松木其實不容易裁切，而我們也沒有任何木工經驗，在製作魯班鎖的過程中，其中一塊魯班鎖還因失力不當而斷掉了。

2. 第二次嘗試

這次選擇泡沫板(材質接近保麗龍，但厚度較薄)，採購容易，雖然這種材料較好裁切，但裁切的過程中發現問題很多的，如材質易斷，一不小心就容易斷裂，而且裁切時無法精準量測，其裁切後的邊緣會掉屑屑。

3. 第三次嘗試

我們之前在閱讀文獻資料時，有看過用積木拼接的方式作為製作材料，積木的優點是不需要裁切，只需組裝起來就好，但問題是組裝的過程很容易斷，在操作時也很容易解開。

4. 第四次嘗試

經過前面多次嘗試後，我們看到之前學姊的研究報告有分享塑靱板的材料，發現這種材料適合用來加工，嘗試後發現塑靱板易於裁切，可以用剪刀或美工刀裁剪，其材質不太容易斷，其硬度也很足夠，因此我們就選用「塑靱板」作為接下來設計的主要材料。

第一次嘗試我們興高采烈地選擇：木材
而且我們的刀具是雕刻刀、美工刀



材料選擇
木材



實作發現松木其實不容易裁切，而我們
也沒有任何木工經驗(木工小白...)



不小心失力過度就斷了...



鑿刻約四節課的成果...(看得出來嗎)

以下是我們經過多次嘗試後，將材料之優缺點、實作經驗進行紀錄與分析。

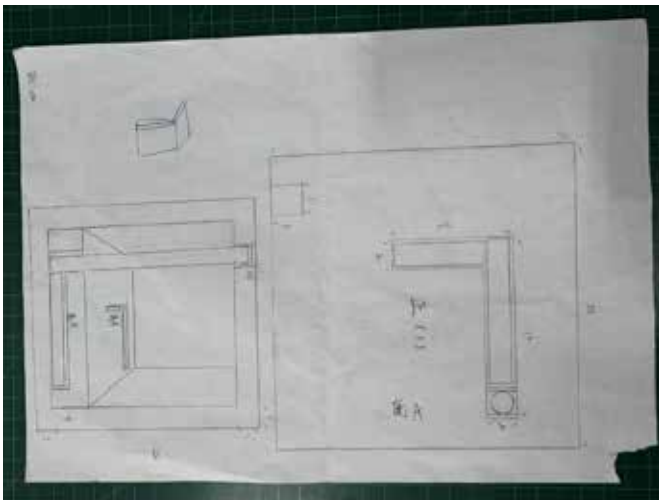
材料名稱	優點	缺點	實作經驗
<p>木材</p> 	<p>質感最經典且堅固，且具有傳統工藝的保存價值。</p>	<p>需使用鋸子、鑿刀，其加工難度最高。結構處容易在加工時斷裂，需要較多的製作時間。</p>	<p>在最後一塊斷裂時，由於木材無法快速修復且工序複雜，容易導致計畫中斷。</p>
<p>泡沫板</p> 	<p>材料容易取得，其材質輕薄便且極易切割。</p>	<p>其結構強度非常差；質地較軟，容易變形或壓損，難以展現魯班鎖的精密接合。</p>	<p>雖然好切割，但對於需要反覆拆解的結構設計而言其材質耐度不足。</p>
<p>積木</p> 	<p>完全不需刀具來裁切，能快速組裝，適合用於驗證設計圖。</p>	<p>穩定性差，連接處容易因受力不均而散開或斷裂。受限於積木顆粒大小，設計靈活性受限。</p>	<p>雖然省去加工麻煩，但對於需要緊密扣合的結構，積木的咬合力可能不足。</p>
<p>塑韌板(PP板)</p> 	<p>材料容易裁切、能用剪刀加工。結構穩固，不易斷裂，其成品之質感良好。</p>	<p>需要精確的摺疊或黏合來增加厚度。</p>	<p>在現有工具（美工刀、剪刀）與時間限制下，此材料較為適合加工與製作結構。</p>

二、設計與製作儲物寶盒

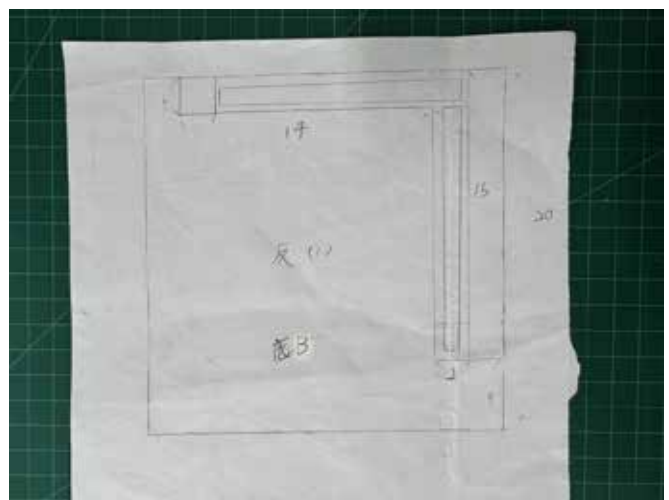
儲物盒的設計靈感來自古建築「不用一釘一鐵」的榫卯智慧，因此我們嘗試用以輕巧的塑板板材質來挑戰與創作，透過精確插槽與翼片的設計，讓板材之間能靠著材質本身的韌性契合，同時結合小機關的設計，讓這個儲物寶盒不能輕易地打開，知道盒子上的提示者即可順利開啟。

(一)材料：5mm 塑板、吸管、黏土(小球)、美工刀或筆刀(刀片需鋒利)、長鋼尺、切割墊。

(二)繪製設計圖



▲儲物寶盒的底部設計 A



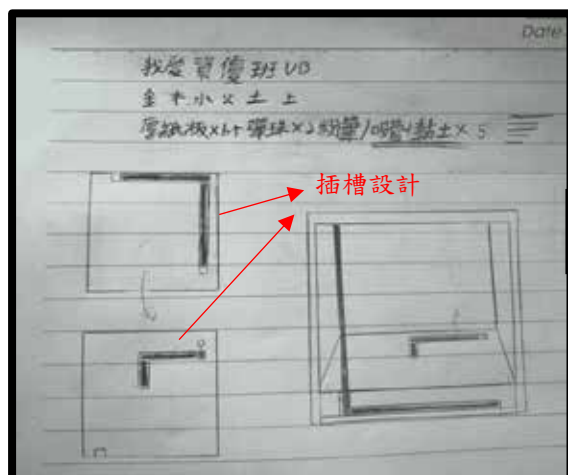
▲儲物寶盒的底部設計 B

(三)切割與製作

儲物寶盒主要採用「翼片插接」的榫卯設計，製作的重點在於插槽寬度必須等於板材厚度，因此切割前需要精確的測量與畫線，另外 PP 板板材內部是有「紋路」的，順向的方式切割會比較容易。

在機關的設計上，我們規劃在內部以吸管和小球(黏土)做為機關，解鎖的方法是以旋轉盒子來吸管與小球在插槽裡能夠移動，移動後就能出現能讓盒子打開的空隙，即可順利開啟。

右圖為設計時的草稿，盒子的本體以翼片插接的榫卯設計，圖中黑色的部分即為插槽設計，這個設計是讓吸管、小球有移動的空間。





儲物寶盒完成!

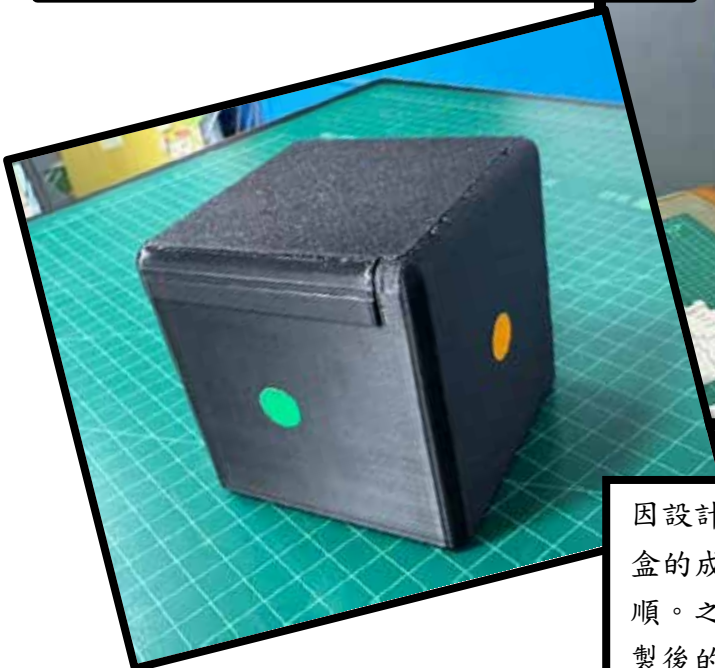
三、

雖然使用塑韌板是比較合適的材料，但在實作榫卯結構時也因此材質具有彈性且帶有中空紋理，在製作時會遇到裁切無法精準的狀況，另外我們也遇到結構尺寸的調整問題，原先設定的尺寸也因裁切而有所變動，在製作時我們也一直不斷地調整與修改，導致儲物盒的成品穩定度與設想的不一樣，這是我們還需要再改進的地方。

(四)調整與重製第二代儲物寶盒

因為選定的材料具有紋理與其彈性特質，因此在製作時我們也一直不斷地調整與修改，導致儲物盒的成品穩定度與設想的不一樣。雖然板材厚度可能是3mm，但因為塑韌板有彈性，如果插槽剛好切3mm，在組裝後容易鬆脫。另外，在切割內凹的插槽轉角時，應用美工刀再稍微修出一點點圓弧，可防止在使用過程中因為頻繁拆裝而從轉角處斷裂。以上總總問題導致成品的穩定度與設想的不一樣，因此我們決定改變製作的材料與做法。

這次我們參考學姊獨立研究報告的建議，決定使用3D建模列印的方式來進行製作，會讓設計的零件更加精密，減少手工製作的誤差；此外，我們考量生活中的使用需求與便利性，因此也調整了儲物寶盒的尺寸。



因設計的零件尺寸更加精密，因此第二代的儲物寶盒的成品較為穩固，其榫卯結構的操作上也比較滑順。之前的成品常會因同學的用力操作而解開，重製後的成品就不會有這個問題了！

三、生活小物之設計

在資料蒐集與實作的歷程中，我們發現大部分榫卯結構的設計與運用以立體的樣貌為多，不論是我們常玩的益智玩具魯班鎖，還是結構運用於建築設計之中，因此我們決定要挑戰以榫卯結構來設計平面的作品，並且這個作品是在日常生活中可以使用的小物。

在與老師討論後，我們發現可以用一筆畫圖形的概念來思考設計，選擇了最常見的五芒星來設計，在不斷地修改與調整榫卯結構位置，繪製 3D 建模後在微調尺寸，於是我們就以榫卯結構設計了一個可以玩又可以裝飾的日常療癒小物—五芒星鑰匙環。



四、魯班橋的製作

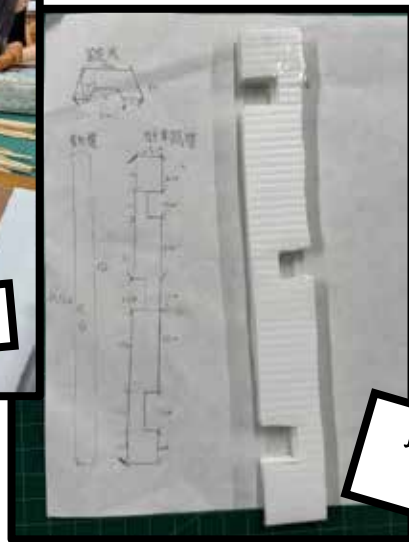
魯班橋（又稱無釘橋）是榫卯結構在橋樑工程上的極致應用。它不需要任何螺絲、釘子或黏膠，僅靠木條之間的相互支撐與重力嵌合就能承載重量，結構設計十分精細且具有美感，因此我們也想要嘗試製作與體驗。

(一)材料：5mm 塑韌板、竹筷、美工刀、長鋼尺、切割墊。

(二)製作過程：



繪製結構設計圖



以 PP 板製作
榫卯結構



雖然網路上有些資訊可參考，但實際將這些結構繪製與組合其實是有難度的哦！



魯班橋完成囉！

第五章 研究結論與建議

一、研究結論

(一)魯班鎖（又稱孔明鎖）是中國民間流傳已久的益智遊戲。相傳起源於春秋時期，由魯國名匠魯班研發，僅憑六根木條的凹槽產生「自鎖」功能，即可拼裝成穩固的器具，充分展現了古代榫卯技術的精髓。到了三國時代，據傳諸葛孔明根據此設計基礎，結合八卦玄學與《易經》六十四卦的原理進行改良，因其結構環環相扣、奧妙如陣法，故被後世稱為「孔明鎖」。

19 世紀初，西方也出現了類似的結構，如德國紀錄中由 12 塊插木組成的「ALTEKRUSE」（意為「老十字」），顯示出插木玩具在全球範圍的流傳。雖然魯班鎖曾一度因變化有限而沉寂，但到了 1970 年代，美國數學家比爾·庫特（Bill Cutler）運用電腦程式窮舉出數億種變化，研發出更複雜的高難度結構。這場轉革將魯班鎖從傳統民間玩具提升至數學建模與運算幾何的研究領域，賦予了這項古老智慧嶄新的科學生命力。

(二)魯班鎖結構的呈現多是由六支之組件所構成；在每一根的組件中有凹下去的部分稱為「卯」，凸出的部分稱為「榫」。在這六支之組件的組合過程中，方法是藉由組件們彼此相互穿插，以榫卯的組合方式，形成一種以十字形狀雙交的結構。在組件中會有一根完整沒有凹凸的組件，它是作為最後一個組合的組件，藉此使整體結構可以穩定，因此具有「鎖」結構的特性，也因為這個特性，這個唯一沒有凹凸設計的組件也就被稱為「鎖棍」。

(三)在研究歷程中，我們嘗試使用不同的材料(木頭、泡沫板、PP 板和積木)去實際製作榫卯結構，發現 PP 板的材質容易取得且好裁切，但因材質具有彈性且帶有中空紋理，故在製作時會遇到裁切無法精準的狀況。參考學姊的建議後使用 3D 建模列印的方式來進行製作，讓設計的零件更加精密，也能減少手工製作的誤差。

在設計上，我們以日常生活中可以使用的小物為核心主軸，設計了兩代的儲物寶盒(調整製作材料、盒子尺寸)，除此之外，以一筆畫圖形的概念來構思，以榫卯結構設計了一個可以玩又可以裝飾的五芒星鑰匙環，將工藝結構轉

化為療癒的日常小物，也希望藉由這些設計作品讓大家都能夠認識與體驗榫卯結構之創意與趣味性。

二、研究建議

(一)設計需要嚴謹的測量與製作，建議在製作時可以善用工具，並且在設計圖上標示完整的尺寸，才不會有誤差的情況，導致結構製作上的瑕疵，而影響實作的成品穩定性。

(二)創作時會需要時間蒐集資料與構思，建議在進行研究前先安排好時間表，若能更加掌握時間就能更加完整地呈現創作的巧思。

(三)建議未來想要以榫卯結構為主題進行創作或探究，可以從建築、藝術(木工)來著手，材料裁切與製作上若可以使用雷射雕刻的方式來進行，會讓機關設計的零件更加精密，減少手工製作的誤差。

參考資料

《書籍》

- 林書嫻 (2022)。《圖解日式榫接：一六一件經典木榫技術》。易博士出版社。
- 紀亮 (2020)。《中國古典傢俱榫卯結構與鑒賞》。北京科學技術出版社。
- 馬丁·加德納 (2017)。《孔明鎖、矩陣博士及陷阱門密碼》。上海科技教育出版社。

《期刊文章》

- 宋清彥(2016)。魯班鎖應用於木作教學設計之研究(碩士論文)。
- 侯啟全(2003)。趣、玩設計—活動榫接在木製家具中的設計創作。
- 陳冠州(2008)。傳統榫卯家具的構造形制之創新設計程序。技術學刊，30卷，93-99 頁。

《網路資料》

- 中國古代益智遊戲
<http://chinesepuzzles.org/hk/burr-puzzles/>
- 中國魯班智慧研究室
<http://www2.kuas.edu.tw/prof/cjh/taiwanpuzzle/>
- 數位台灣(六子聯芳)
https://culture.teldap.tw/culture/index.php?option=com_content&view=article&id=2317:combining-the-six-worthies&catid=148:a-slice-of-wonder&Itemid=2
- 挑戰巨匠—探究魯班鎖之設計模組
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=12947&sid=13167>
- 童玩設計 — 解開梅花鎖的奧妙
<https://makerpro.cc/2020/07/tubular-lock/>