

鋁合金軸件經過螺旋排列輕量化設計後  
之拉伸特性之研究  
The Research of the Tensile Characteristics  
on Aluminum Shaft after Screw Alignment  
Light-Weighting Design

呂理得 黃正熙

Lee-Der Liu, Chenhsi Huang

黎明技術學院創意產品設計系

Department of Innovative Product Design, Lee-Ming Institute of Technology

摘 要

本文針對鋁合金軸件輕量化進行設計及研究，其中包括輕量化孔洞的數量及排列設計，以及鋁合金軸經過輕量化之拉伸特性進行研究，由於鋁合金製成之軸件常需在軸件上鑽孔以便組合傳動，若能經過輕量化設計，其整體性能必能有所提升。故本文除了探討軸件上鑽削不同之銷孔後之破壞特性，並加入銷孔之直徑作為實驗變數，期望對鋁合金之軸件在銷孔部位之破壞形態有進一步的了解。

我們規劃輕量化的實驗方法驗證鋁合金軸件之最佳設計，實驗方法包括將軸件試片自行以精密銑床加工銷孔，除了鑽削不同直徑之貫穿銷孔之外，並將銷孔排列成螺旋狀，一方面可以達到輕量化的目的，另一方面這些貫穿銷孔可以在軸件轉動時顯現不同的透光點組合特徵，讓使用者感受到工業元件也有互動的美感。此種軸件設計係為創新元件，可應用在自動門之門樞主軸，該透光性訊號係用來啟動光感應元件。

本文也注重產品的實用性，故使用精密拉伸試驗印證設計的概念，在拉伸試驗中，係將鋁合金拉伸試片以 MTS 動態試驗機在程式控制之拉伸速度下進行，結果發現，鋁合金軸件經過輕量化設計後，其材料切除比率隨著銷孔直徑增加而增加，其抗拉強度亦大約依比例變化，在銷孔直徑與抗拉強度兩者之間有一黃金交叉，意味著設計者可在輕量化與強度降低之間獲得一折衷效能。

**關鍵詞：**鋁合金、螺旋排列、輕量化、拉伸破壞。



## Abstract

This article aimed at the screw-alignment light-weighting design on aluminum shaft to increase its performance. And we designed some extra holes on shaft to obtain the purpose on light-weighting parts during tensile test. We tried to distinguish the tensile characteristics of aluminum by different diameter of holes.

We tried to verify the design method and tensile characteristics of aluminum, including drilling different diameter holes on aluminum shaft by ourselves using milling machine. We hope to modify the performance of this shaft. We added the esthetic sensibilities of industrial components, and the components will also display different combination of bright points. This innovative design could be applied in the rotation axis of auto door, and the above light signal will role the light sensors ◦

In experiment, we made some rod aluminum tensile specimens. We use MTS machine to control the tensile rate. We found that, the weight and cross-section area of aluminum shaft will be reduced after light-weighting design. And the tensile force performed in proportional rules. So we have known that, there will be a compromise selection between tensile performed and light-weighting.

**Key Words:** aluminum alloy, screw-alignment, light-weighting design, tensile fracture.



## 1. 前言

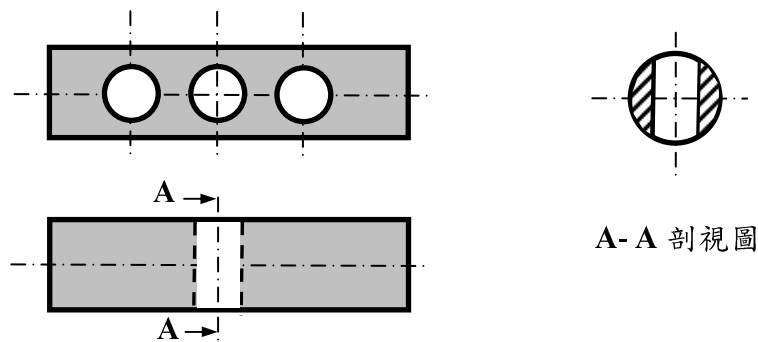
產品結構輕量化可提高產品性能，增加產品價值，目前輕量化的技術包括複合材料或功能材料的應用，使產品達成輕量化的目標，但是此類技術需求較高，本文乃針對利用相同材料的外形設計來達到輕量化的目標，雖然簡化外形或減少材料可能會影響到原本的力學設計，但是如果不至於嚴重使用壽命，筆者相信設計者或使用者皆可在產品輕量化與強度降低之間獲得一個折衷選項[1-3]。

## 2. 理論分析

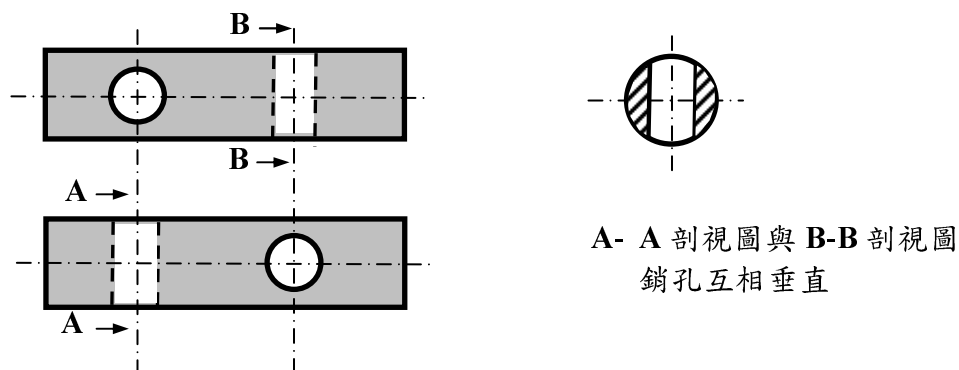
本文以輕量化為前提，將軸件施以螺旋狀排列的銷孔，在此之前，筆者曾經研究以同方向直線排列之銷孔，如圖一所示，作為以達到輕量化的效果，本文中作者希望進一步在產品中置入非直線創意。

發想的第一步，是將同方向直線排列之銷孔改變成交錯排列之銷孔，如圖二所示，使相鄰的銷孔軸線相差 90 度。

接著，我們發現在新穎設計的產品中，常有曲線的構思，如同膠帶台的設計，習用產品常以直線外型佐以表面質感作為賣點，但是出自名家之設計皆以曲線為主，如圖三所示[4]。另外，在座椅家具的設計也有異曲同工之妙，設計師以如夢似幻的曲線構成具體產品，如圖四所示[5]。所以，根據多種造型設計，吾人採用現代化的螺旋線條取代以往的直線陣列，即使在直線的圖像當中亦可呈現曲線的視覺效果，如圖五所示[6]。



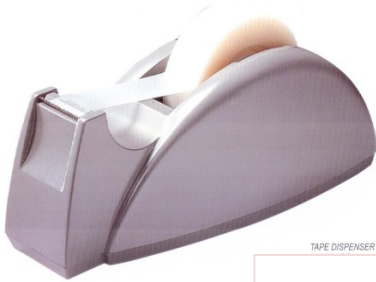
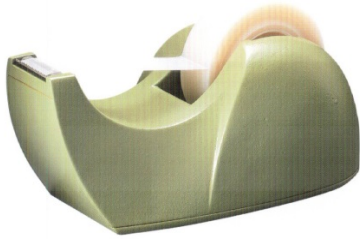
圖一 同方向直線排列之銷孔示意圖



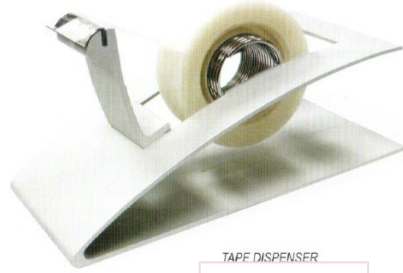
圖二 相鄰的銷孔軸線相差 90 度之銷孔示意圖



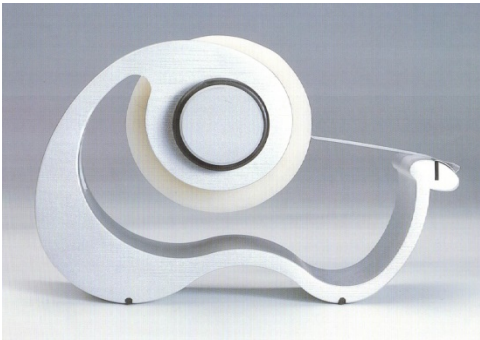
新穎的膠帶檯



TAPE DISPENSER



TAPE DISPENSER



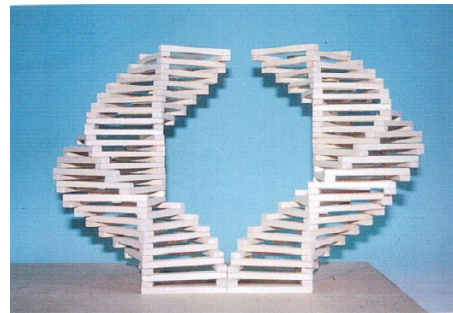
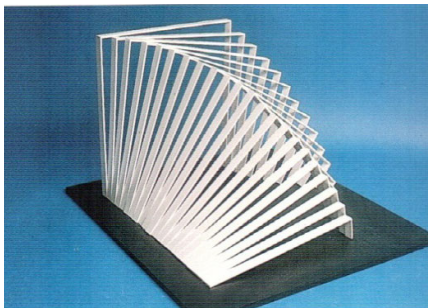
習用的膠帶檯

圖三 新穎的膠帶檯與習用的膠帶檯之外型比較





圖四 如夢似幻的曲線構成具體的座椅外型

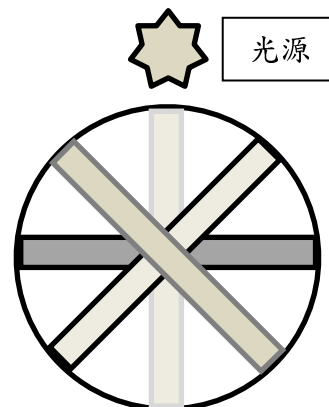


圖五 直線的圖像當中呈現曲線的視覺效果

因此，吾人將以往的銷孔位置的直線排列方式變換為螺旋排列，這種排列方式除了一方面可以達到輕量化的目的，另一方面這些貫穿銷孔可以在軸件轉動時顯現不同的透光點組合特徵，讓使用者感受到工業元件也有互動的美感。

螺旋排列的初步設計係將軸件以同向板鉗(wrench)旋轉，每個孔洞中心旋轉相隔45度，而孔洞中心沿著軸向移動前進5 mm，如此在總長60 mm的軸件上，可以分配13個孔洞，俯視圖如圖六所示。若在軸件後方設置光源，則當軸件轉動時，軸件上將會呈現不同的透光點組合，不同角度的透光點組合特徵如表一所示。在軸件轉動到0度與180度時，編號1、5、9、13的孔洞將會對準光源而透出光線成為

亮點；相同的，在45度與225度時，編號2、6、10的孔洞則會成為亮點，但是此時只有3個亮點而非4個亮點，兩者之間就成了互動的記號，其他兩種角度亦同。



圖六 軸件俯視示意圖，本文設計在軸向分配13個孔洞位置



表一 軸件上在不同旋轉角度時的透光點組合特徵

軸向等分	0 度	45 度	90 度	135 度
孔洞編號	180 度	225 度	270 度	315 度
1.	●			
2.		●		
3.			●	
4.				●
5.	●			
6.		●		
7.			●	
8.				●
9.	●			
10.		●		
11.			●	
12.				●
13.	●			
亮燈	4 個	3 個	3 個	3 個

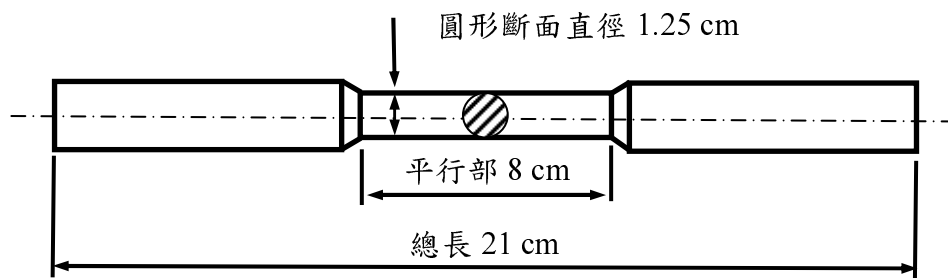
### 3. 實驗方法

本文之實驗採用圓桿狀之拉伸試片，試片總長約 21 cm，其平行部之直徑為 1.25 cm，平行部長度為 8 cm。拉伸試片示意圖如圖七所示。

試片準備係在拉伸試片平行部以精密銑床鑽削不同形式的銷孔，三種試片鑽削孔徑分別為 0.25、0.3 以及 0.4 cm，照片如圖八下側所示。有別於之前之直線排列之銷孔，如圖八上側所示。

本文以計算方式算出鋁合金軸件在各種輕量化設計的切除比率，再以實驗的方式對照其強度變化。

試片準備完成後，本文的拉伸實驗採用 MTS 公司之 100 kN 動態拉伸實驗機 (MTS 810) 實施拉斷實驗。謹此感謝大同大學材料系提供協助。



圖七 拉伸試片示意圖





圖八 上側為具有直線排列之銷孔試片，下側為具有螺旋排列之銷孔試片

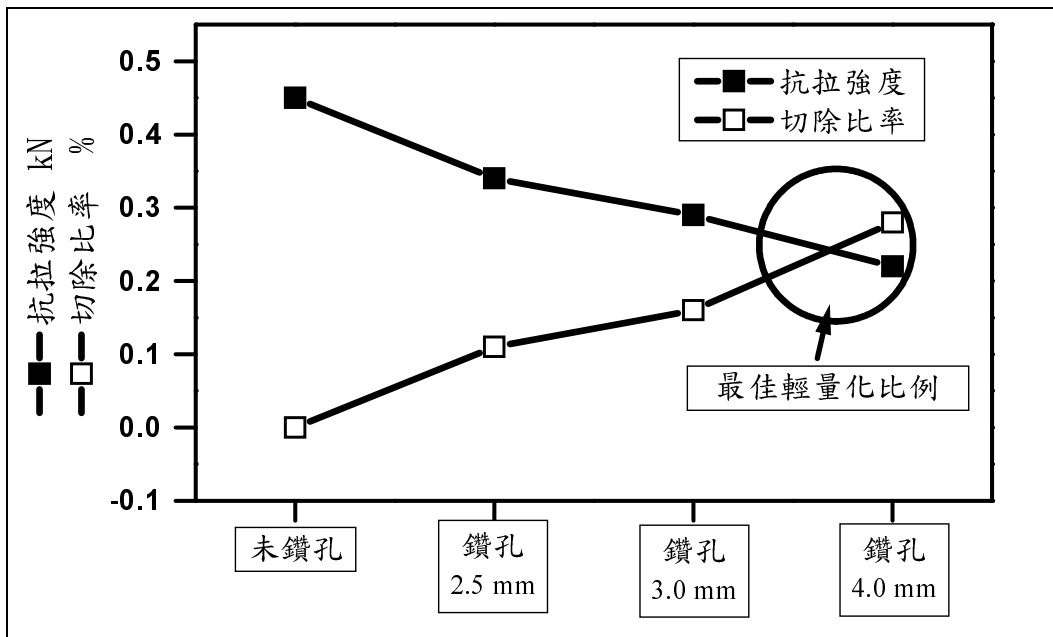


圖九 試片拉伸後之照片，顯示延性材料的斜面剪力破壞特徵，係從各孔洞之間的破斷裂紋接近45度角的現象看出。



表二 試片輕量化的材料切除比率與強度降低比率實驗數據。

變數	孔洞直徑 (Diameter)	切除比率 (原材為 0)	抗拉強度 (Peak value)	強度比率 (原材 44.7 kN)
單位	cm	無	kN	%
計算值 共有 13 個孔洞	0.25	0.11	34.40	75
	0.3	0.16	29.10	64
	0.4	0.28	22.20	49



圖十 軸件輕量化切除比率與抗拉強度降低比率的變化情形

試片的輕量化比率與拉伸試驗的結果數據如表二所示，拉伸破壞的試片照片如圖九所示，抗拉強度降低比率與輕量化切除比率的變化情形如圖十所示。

#### 4. 結果與討論

當鋁合金軸件試片經過輕量化設計後，輕量化程度隨著材料切除比率成線性正比變化，另一方面，試片承受拉伸外力的截面積亦隨之縮減，其抗拉強度亦大約依比例變化。

從拉伸結果發現，具有 0.25、0.3 以及 0.4 cm 之不同鑽孔直徑之孔洞的軸件材料輕量化比率分別減少了 11%、16% 及 28% 之體積或重量，其抗拉強度大約只剩下原材的 0.75、0.64 及 0.49。

以設計的觀點而言，材料的微觀組織並不能成為設計者的依據，例如從圖九的照片中，我們可以清楚看到延性材料的斜面剪力破壞特徵，但是在產品設計者的眼中，這並不是最重要的，產品設計的主要原則在其功能性的外在表現而非破壞方式。[7-10]





所以，如果本文的輕量化元件運用減少 28%重量的設計，而必須降低元件的抗拉強度僅成為原來的 49%，這樣的輕量化設計是否可以符合商業需求，其實是可以討論的，如同本文實驗所示，輕量化與維持強度雖然是兩難，但是兩者卻能夠有一黃金交叉點，對設計者而言不啻是一個重要參考。

因為從力學設計的角度而言，最終產品通常是過度設計(over design)的結果，主要是因為在設計過程當中必須加入一個安全因素(safety factor)，一般產品通常以 2~5 倍的倍率來保守計算產品強度並預估產品的使用壽命，當安全因素愈高愈安全，表示產品的使用壽命愈長，亦即產品愈不容易損壞，故此，無論設計者或使用者應可重新思考安全因素的必要性，並能夠在輕量化與降低強度之間選擇一個最佳的折衷方案。

## 5. 結論

由以上的實驗及討論，可以得到下列結論：

1. 本文之鋁合金軸件經過輕量化設計後，其重量以線性趨勢減少。
2. 本文之輕量化元件減少了 28%的重量，但必須降低元件的抗拉強度成為原來的 49%，預估在這兩項實驗數據之交叉點附近有一最佳輕量化比例。
3. 設計者應可重新思考安全因素的必要性，在輕量化與降低強度之間選擇不同的方案。

## 參考文獻

1. Donald R. Askeland and Pradeep P. Phule, Essentials of Materials and Engineering, Thomson, 2004. pp.5-7.
2. 原著 Jim Lesko，譯者:黃台生，工業設計-材料與製造入門指南，六合出版社，2004。pp.3。
3. 林崇宏，基礎設計-立體構成原理，新文京開發股份有限公司，2005。pp.10。
4. 林崇宏，造型設計原理—點線面體空間的研究與探索，視傳文化事業有限公司，2005。pp.98-99。
5. 呂豪文，呂豪文產品設計，全華圖書股份有限公司，2011。pp.64，pp.151，pp.156。
6. 伊麗莎白·庫曲里葉 (Elisabeth Couturier) 原著，蘇威任翻譯，產品設計怎麼回事?從時代精神、材質美感、經營趨勢、流行色彩，所有你該知道的家用產品設計入門學，原點出版，大雁發行，2013。pp.3。
7. 劉松柏，材料強度破壞學，成環技術叢書，2000。pp.5。
8. Hasdogan, Gulay, The role of user models in product design for assessment of user needs, Design Studies, Vol.17, No.1, January 1996. (Entire Literature)
9. Crinnion, John, A role for prototyping in information systems design methodology, Design Studies, Vol.10, No.3, July 1989. (Entire Literature)
10. Donald J. Wulpi, Understanding how Components Fail, ASM, 1991.

