

## 一、華司種類

扣件技術與結合件的各方面都有關係。雖然螺栓、螺紋與扭力方面的文章寫得很多，可是還有一些產品它們的功用與主要的接合零件一樣重要，卻很少被提到。這其中較少被人注意到的就是華司（或稱「墊片」）。它們從史前時代就被使用到今，仍然默默地為我們服務。雖然它是很原始的扣件，若使用不當或設計錯誤，也會造成設備的毀壞與嚴重的結合件破壞。

# 看似微不足道的華司 不可小覷！

文 / Thomas Dopke

華司有若干種製造方法，大部分的形式是從板狀或條狀金屬沖壓而來。非金屬華司則從板狀材料利用「餅乾切刀」模或高壓水柱切製而來。華司可根據其功能與形狀分類為幾種基本的族群。有：

- 1. 平華司：**有平坦表面的產品。內外形狀雖然一般是圓形的，但其他形狀也有可能。
- 2. 鎖固華司：**有一個特性，就是在組裝好的結合件裡可維持某程度的張力。開口螺旋形、內部或外部有齒形、斜坡表面為最常見的形式。
- 3. 倒角華司：**是設計來配合有倒角的扣件。它們用於鎖塑膠與軟材料時，分散負荷用，與防止拉透布質材料。兩種常見的形式為擴口式華司（Flared Washers）或修飾華司（Finishing washers）。
- 4. 彈簧華司：**是特別設計用於組裝後，經由有負荷與無負荷時的距離來維持張力的華司。常見的方法是將華司上做成皇冠或波浪形彎曲。最常見的是「弓形」（圓柱曲線的）、「波浪形」（外圍有一個或多個波浪形）與「錐形」（或稱 Belleville）彈簧華司，它有許多不同的變異版，如偏心的皇冠與外形的變異（四方形、多邊形）。
- 5. 肩形華司：**有一凸出的部分，通常是環繞著中心孔，用以支撐欲結合的材料，使不會被夾住，或用來做中心定位，或用來絕緣鎖或扣件（例如：隔絕電流），或作為更準確的定位用途。它們常用於價格不高的組件之軸的定位。孔環（Grommets）就是一種肩形華司。
- 6. 對齊華司：**是特殊的產品，用來使結合件變水平，而吸收結合件上的不整齊處。它在交

通業用得不多，較多使用於重機械、營造與軍事方面。

**7. 特殊華司：**是為了某一特殊，經常是獨特的功能而設計的華司。在其各式各樣形式中，有膠泥（mastic）、塑膠、橡膠、銅與其他軟材料製成的，用於液體或氣體的封填。有的為了局部牢固的需求，在某地方有個彎曲拉環。這一類的華司都與一般的分類不同。

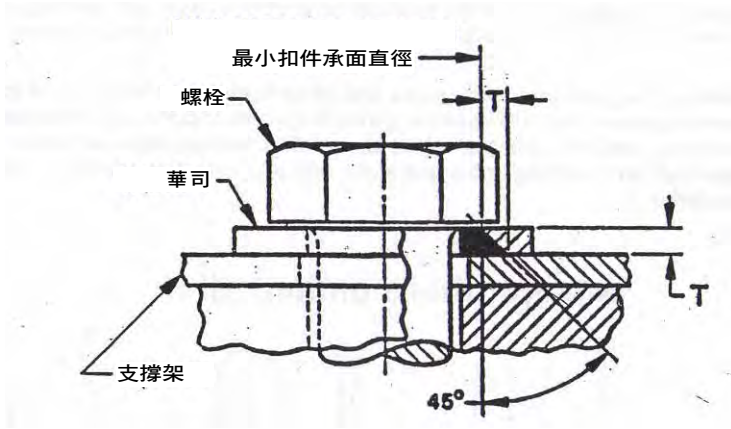
## 二、各款華司逐項解析

### （一）平華司

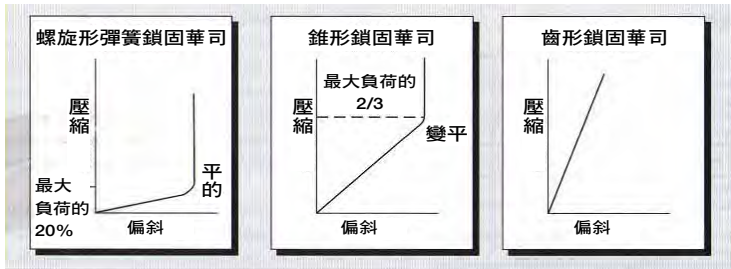
是我們所知最古早的承面扣件。它起源於史前時代，一直使用至今，是分散負荷至更寬廣的面積，提供一個平順的承受面以減少摩擦（從手推車的車軸到現代的發電機的渦輪），且協助維持結合件的扭力—張力關係。

雖然平華司看起來是一簡單的零件，它的若干功能也含有一些工程設計。它們共同的特性是平的，在其使用中必須都維持如此。平華司最常見的失效情形是，由於孔的大小不當，或金屬太軟、太薄，以致被拉入結合件的孔隙，陷入搭配的扣件裡。使用太薄或太軟的材料會造成華司的降伏。支撐的材料，如華司應該要比所施加的負荷強。計算平華司支撐其負荷所需之參數，需要注意一些事實。其一，該負荷必須要散布於夠大的面積以減少單位應力；其二，孔的餘隙必須夠大足以容納其扣件與其圓角，但不可以大到該華司材料會被拉入孔裡；其三，華司內孔的直徑，在尺寸上必須符合相配的孔的容許差。在我們開始之前，有一件事要注意。一個平華司要將其負荷分佈於等於其（螺栓的）承受面直徑，再加該華司厚度的兩倍之面積，這已經多次被驗證過。

圖一、螺栓剖面



圖二、典型的華司特性



使用 M8 螺栓與硬化的平華司 (數值列於下)，其結合應力 (joint stress) 為：

$$\text{結合應力 (Sj)} = \frac{P}{A}$$

其中：

螺栓承面最小直徑 (Dwf) = 11.6mm

華司最大內徑 (IDw) = 9.12mm

華司最小外徑 (ODw) = 17.6mm

華司厚度最小值 (T) = 1.9mm

9.8 級螺栓的保證荷重 (P9.8) =  $2.38 \times 10^4$  N

華司有效外徑 (Ode) =  $Dwf + 2T = 15.4$ mm

華司有效面積 (Ae) =  $\pi (Ode^2 - IDw^2) / 4 = 1.21 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>

得結合應力為：

$$Sj_{9.8} = P_{9.8} / Ae = 2.38 \times 10^4 \text{ N} / 1.21 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 197 \text{ MPa}$$

若結合的材料之降伏強度大於螺栓、華司的降伏強度的總合，則此計算式顯示這個華司會被拉下或陷入結合的材料。標準的 1008-1010 鋼材之降伏強度為 283 MPa。

如前所述，要小心檢查所有欲結合的工件之孔。若孔大於華司的內徑，可能會發生華司被拉下，造成結合件鬆弛，扭力喪失。以下的計算式可以判定能支撐結合應力之最大內孔直徑。若搭配的材料之孔是與華司之有效外徑一樣大的話，這個容許孔 (Dc) 可為：

$$Ad = \pi (Ode^2 - Dc^2) / 4 \text{ 且 } AD = \frac{P}{Sy}$$

其中

Ad = 匹配零件的承受面積

Sy = 匹配零件的降伏強度

Dc = 容許孔的最大直徑

$$Dc = \sqrt{Ode - \frac{4P}{\pi Sy}}$$

9.8 級螺栓之 Dc = 11.4 mm 其結果為 282MPa

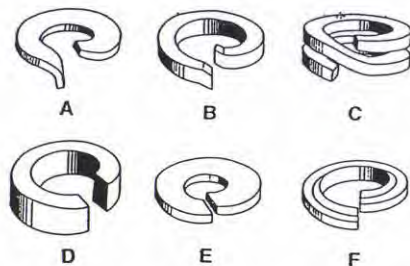
M8 螺栓的標準容許孔直徑為 8.55-8.82，所以較大的容許孔是可以的。然而，較好的設計是保持孔徑如實際般的小。

## (二) 鎖固華司

可以分成三種大形式。其一，用了幾十年在木頭車廂與車體上的開口式彈簧鋼螺旋形鎖固華司；其二，內部或外部有齒形的鎖固華司，主要用於電路之接地；其三，彈簧鋼錐形鎖固華司與其變異版。鎖固華司會如此命名是因為它們會產生某種程度的張力 (鎖固的力量) 於安裝好的結合件上。可是這個張力的量以及如何產生張力會因形式的不同而變異很大。

如圖二所示，螺旋形在被安裝時，會加張力於結合料上，直到加到最大結合負荷的 20% 時為止。超過此點，基本上它就變平華司了。由於其外徑小於螺栓的承面，代表它的有效承面較小。(記住：負荷是載於相當於螺栓承面上加上兩倍的華司厚度的面積。) 另一個缺點是該華司在鎖緊時易開展成開放式的，為了預防此情形，許多螺旋形華司其周圍的厚度會做成小於內部邊緣的厚度，但是在負荷低於結合件能力的 20% 以下的場合，是可用的。(例如：木頭、軟塑膠與長的扣件)。如果不希望看到華司從螺栓頭下面探出來，就常會用此種華司。參見以下之華司選用圖，以取得更多的選用考慮。

圖三、螺旋形鎖固華司的形狀圖

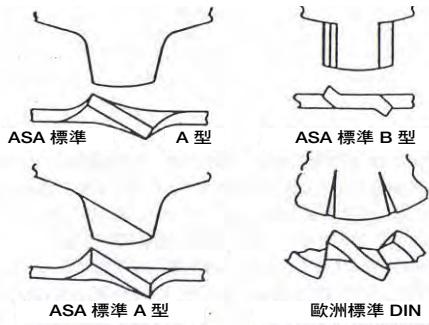


特殊用途的螺旋彈簧鎖固華司：

木頭的彈簧鎖固華司 (A)，正面形 (B)，雙圈形 (C)，高領形 (D)，寬承面鎖固華司 (E) 與有稜線形 (F)



圖四、齒形製造的變異版



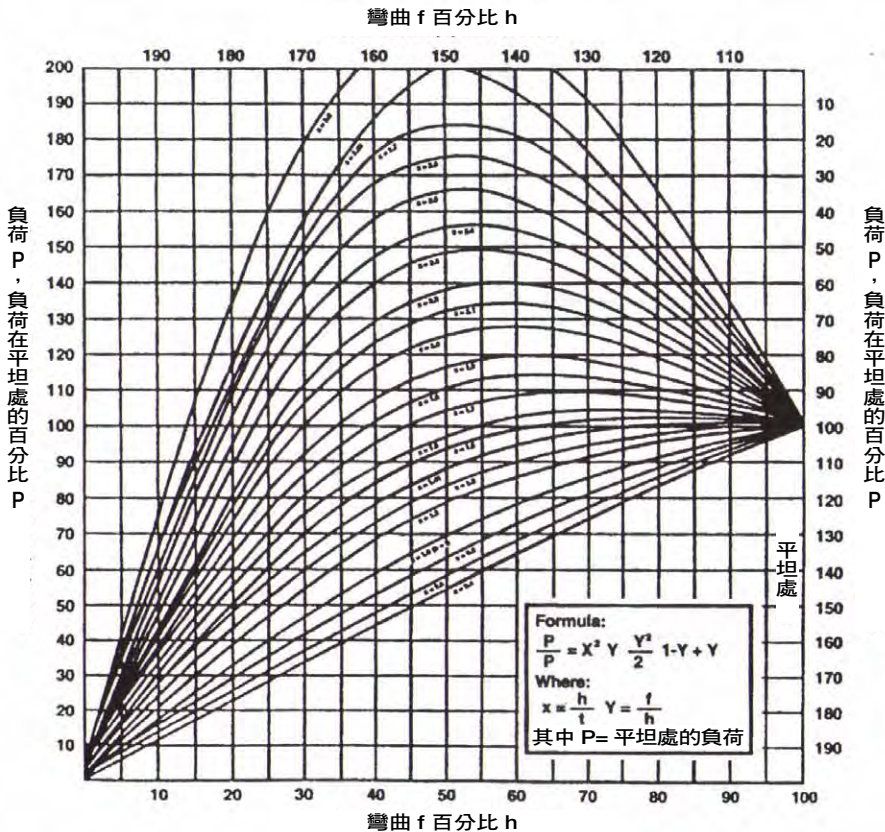
圖五、螺栓與斜坡華司



限。兩種在美國都是可互換使用的。如今是全球採購時代，可以發現有若干其他的變異版。最常見的是所示之 DIN 產品，雖然在歐洲很流行，但是「深入」的能力較小。

有齒形的鎖固華司有所說的內部與外部形式，與內部/外部的變異版。除了接地用途之外，它們很少被使用，計算式只是學術項目。

圖六



### (三) 倒角華司

是標準華司的一小支旁系，製成圓錐形。它們用於塑膠、銅、纖維合成材料上來分散負荷。它們在防止華司被拉入布料、纖維材料裡，表現良好。齒形形式會多一些彈簧作用於金屬的結合件上。

### (四) 修飾華司

是小型錐形華司，螺絲會穿過它。它們用在鎖固有美觀需求的面板、外蓋與織物上。

### (五) 彈簧華司

有一小群的鎖固華司被稱為「斜坡」華司。它們的特性是在其承面有一放射狀斜坡。當螺栓處於震動情況下易產生旋轉時，這些稜線可防止華司鬆弛，離開螺栓的承面。換句話說，該華司會緊緊地卡在變鬆弛的方向。它們通常成雙使用，或配合螺栓承面有稜線的表面來使用。若設計為錐形華司，就有很優秀的扭力維持與抗鬆弛能力。

華司上面可做的，大都已做在錐形彈簧華司這一類上了。關於波浪形華司雖有少許資料可查，可是由於它們用在低負荷的情況，用來維持低量的「擴展」，以使小的軸可以緊一點，尤其是在旋轉運動時，所以一般這些資料不大會用到。雖然用在極小的尺寸裡，(例如：手錶、電子與微

螺旋形鎖固華司有薄的、正常的、厚的系列，有拉環可防止旋轉，有多重圈環可增加張力的，甚至有反纏繞的特性，可防止華司在運送紙箱裡糾纏一起。負荷的計算是有可能的，但不容易，且始終不會做，因為有很多系列(厚形的)、形狀(梯形、平十字形)，與各種的使用材料。

內部/外部齒形鎖固華司已經用於電器產品的接地接觸多年了。其齒形能防止旋轉，因它會「咬入」表層，提供一條乾淨的路徑給電流。它們會切入表面，所以對有美觀需求的用途來說，是一個不佳的選擇。它們用於低負荷的用途、硬的材料，以及長或短的螺絲，非常適當。但是若有大的孔要跨過，則表現不佳。

將它們用於高扭力的安裝可能造成它們龜裂，因它們通常是用高硬度鋼製造的。設計上有變異版，是根據製造的差異與齒形成型的方法不同。可是這些變異看起來對它們的負荷特性並沒有影響。它們呈現的是一固定比例的直線形壓縮/偏斜曲線。(請見圖二)

圖四顯示一般型的齒形形狀、A 型有兩種製造形式。兩種都呈現大的彈簧作用，且在很小或無負荷時會陷入。B 型很會陷入，但其彈簧作用有

表一、鎖固華司選擇指南

 鎖固華司選擇指南  
基礎應用考量

鎖緊變數						華司形狀							
首次螺絲張力 <sup>1</sup>		鎖固之材料 <sup>2</sup>		鎖固之螺絲長度 <sup>3</sup>		齒形				錐形		螺旋形	
適當負荷	負荷不夠	剛硬	可降伏	短	長	外部	內部	內外部	盤形錐形	倒角	素的	斜坡	彈簧
√		√		√		E	E	E	G	E	F	G	P
√			√	√		G	G	G	E	G	F	G	P
√		√			√	E	E	E	E	E	G	G	P
√			√		√	G	G	G	E	G	G	E	P
	√	√		√		E	E	E	E	E	F	G	P
	√		√	√		G	G	G	E	G	G	G	E
	√	√			√	E	E	E	E	E	G	G	P
	√		√		√	F	F	F	G	F	F	G	F

輔助考慮因素													
華司要跨孔								x	x		x	x	
華司用於平型、蛋型螺旋頭部										x			
華司要分散負荷於廣大面積						某些	某些	x	x	某些	x	x	
華司要防止工件表面變動						x	x	x	x	x			
外觀考量							x		某些	某些	x	x	x
Sems 華司其華司以下某最大螺紋						x	x	x		x			

- 1 估計是否螺絲可鎖到其最佳狀況
- 2 鎖固之材料是剛硬的 (鋼鐵) 或是會降伏的 (墊件、鋁、鋼等)
- 3 鎖固之厚度—螺絲上可得到之彈簧拉伸：短 (大約到 1½") 或長 (大約超過 1½")

- √：一般項目之鎖固條件
- E：優良
- G：好
- F：可
- P：不好
- X：建議採用

小器具)，這議題是有趣的，但礙於版面，在此就不多論述。

在過去幾年裡，大家所熟悉用於螺栓、螺絲組合之錐形彈簧華司，成長得比大尺寸的零件多，這是由於張力吸收對於大的軍事大砲與一些重機器 (如火車頭) 有助益。以它的發明者 Belleville 來命名，許多功能法則都是他做出來的，而後由 Alman 與 Laszlo 在 1930 年代繼續研究。看看圖二，可見錐形華司在首先的 2/3 負荷時，就提供了結合件張力。過了該點，華司的皇冠形就被壓平了，它只發揮了平華司的功能。要使錐形華司能正確地發揮功能，需要適當的設計。最常見的錯誤是把皇冠的高度設計得太高，這樣並不會增加彈簧效果。由於有限的材料反彈，與首次安裝之後無法完全恢復，若華司受到高壓永久固定，可能會發生破壞。正確設計的錐形華司會呈現從皇冠起始高度開始，幾乎是線性比例的壓縮，直到其平坦位置，由於材料之彈性限度超應力的原因，在高度上沒有永久性的固定。

在 Belleville, Alman 與 Laszlo 發展出一份錐形華司運作的法則計算表，當在平坦位置之高度與負荷已知時，就可算出在彎曲處之負荷。

這張表並不依賴任何特定的應力或直徑比例。當高度厚度的比例減少時，其負荷偏斜曲線就愈趨近一直線。若比例約為  $h=0.4t$  時，與其直線的最大誤差大約是 2.5%，如此就不需要計算更小的比例了。

例子：利用這張表，一華司其皇冠高度為其厚度的 1.3 倍，檢查所計算出來的平坦負荷 100KG。在其偏斜的 75% 之處 (假設該結合件因震動或其他模式變鬆弛了)，這表顯示該結合件仍有 95% 的平坦負荷 (也就是 95 公斤)。在 50% 彎曲處時，其負荷是 82%，等等。雖然改變  $h/t$  比例，就可能改變負荷特性，但正確的答案可能始終創造不出來，理由就是大部分的扣件計算式，最多也是近似值。計算式可能在此佔用了幾頁，但事實是華司承載負荷的能力是基於其材料厚度的立方。就是說材料 (華司) 厚度稍微改變，會產生負荷的大改變。就是這理由，即使測試同一製造批次的不同產品，仍存在廣大差異的。材料的變異，小至 5% (3mm 厚度的  $\pm 0.075\%$ )，也會改變總負荷值的 15% (也就是 500KG 總負荷上的 75KG)。

這些年來，對基本設計有做了若干修改。如，不對稱十字剖面的華司可產生額外的偏心負荷，以增加彈簧作用。兩階式華司 (華司的中心是四方形或其他形狀，外圍是錐形) 也能增加彈簧作用。

波浪形華司在其身上有單一曲線 (弓形) 與多重曲線的。它們用於低負荷與最大偏斜之用途，它們可以吸收馬達轉軸的軸端縫隙，減少銷的雜音，可用在軟材料 (塑膠) 上，因其需要有消除雜音的預防措施，且不能壓毀基本材料。波浪形華司的設計公式，可在大多數的工程用書上找到。在空間受限制時，會用到多重波浪形華司。幾重的波浪都有可能，視負荷要求而定，但最常見的是三、四、六重波浪形。

表一列出了在不同的情況之下，不同種類的鎖固華司之功能。主要的情況有結合件上開始張力，欲鎖緊材料的性質，螺絲 / 螺栓的長度。這

份表格在選用適當形式的鎖固華司方面會有所幫助。

### (五) 肩形華司

誠如其名所示，是一個有肩部來隔開或隔絕兩個組件。非金屬華司用於電子業，防止兩個迴路板相觸。當與塑膠或蜂巢式材料一起使用時，它們會維持某種程度的鎖緊，且防止「夾到」。它們時常用於組裝品，作為定位之物。

### (六) 對齊華司

用來保持結合件的水平排列，可容納結合件上不規則之處。主要的用途是營建業，因鋼結構樑上缺乏平行度，水道也會用到它們。它們看似有斜切面的平華司，可配合水道外表面，該表面有一個大約是 1：6 對應螺栓軸線的斜坡。

### (七) 特殊華司

號稱「特殊華司」這一族群，就是不歸類於任何其他類的總總。一般而言，它們是獨特針對單一性質，就沒什麼可討論的。有一種的用途較廣，就是由膠泥製造的，或含有膠泥這原料。膠泥是一種黏黏的、麵粉狀的物質，在安裝過程中可被壓縮，因此可以封填它所觸及的旁邊區域之間隙。這就是扣件要穿過所需的孔的餘隙。它們是液體、化學品與氣體的封填物，是由特殊材料為這目的所做成的。所需的量有些準則可依循。它必須有足夠的數量可以流入所需的空間，而不會多餘地凸出，形成不能接受的視覺上的渣滓。要封填的空隙板上的孔要愈小愈好。這膠泥在設計上要盡可能地軟，多餘的部分才能被螺栓頭底部擠出，而當螺栓頭與匹配的表面相鎖時，可以被切斷的動作切掉。若剩餘的材料在壓力下可被壓縮，就使用封閉孔式的材料。如果可能的話，螺栓頭底部做切角，預留空間給封填物壓縮用。

封填華司的最小外徑的決定，可利用以下的計算

$$\text{式： } X = 2D - d + 0.8\text{mm}$$

其中 X = 華司的最小外徑

D = 欲封填之孔的直徑最大值

d = 螺栓的大徑之最小值

華司雖然被視為卑微的零件，卻像是可以讓你失去一匹馬的馬蹄鐵釘。它們是極簡單又極複雜的五金產品。它們有明確的功能，若使用前能稍加考量，就可以使它們表現得如所需要一般。適當的選用材料，加上正確的尺寸，與適合該工作的正確類形的華司，應該就可產生成功的結合。 ■