

# 認識各式墊圈種類

談到螺栓連接，螺栓和螺帽一向是最受關注的，大家很少會考慮到其中使用的墊圈。然而，這樣是不對的，因為在許多情況下，墊圈對緊固接合的成功與否起著至關重要的作用。

墊圈有許多不同的形狀、尺寸和變化。不同的變化可用於不同的應用。本文將介紹不同類型的墊圈、它們的典型使用方式、工作原理以及與之相關的一些常見標準。

## 平墊圈

平墊圈是所有墊圈類型中最常用的一種，有時也被稱為「一般」墊圈。雖然它們可以製成特殊形狀，但最常見的是圓形。英制平墊圈可能有點令人困惑，因為有兩種不同的傳統標準存在已久，使它們都得到了用戶的普遍認可。這兩種平墊圈通常被稱為 SAE 平墊圈和 USS 平墊圈，這是以將它們標準化的組織名稱命名的。SAE 標準由美國汽車工程師協會制定，USS 是 United States Standard 的縮寫，由美國海軍制定。

不幸的是，這兩種不同標準的普及造成了混亂。事實上，當我為這篇文章研究幾個要點時，我看到了許多部落客的發文，其中提出了一些問題，比如：為什麼兩個號稱尺寸相同的墊圈實際上尺寸相差如此之大。很明顯，困惑點在於 USS 墊圈和 SAE 墊圈是不同的。事實上，USS 墊圈通常比 SAE 墊圈外徑更大、更厚。與 SAE 墊圈相比，直徑更大、更厚的 USS 墊圈可以承受和分配更多的負荷，用於要求更高的應用中。

如今，英制墊圈的相關產品標準是 ASME B18.21.1。該標準定義了 A 型、B 型和舷側墊圈。A 型墊圈分為「窄」型和「寬」型。一般來說，A 類「窄」型墊圈相當於 SAE 墊片，A 類「寬」型墊圈相當於 USS 墊片。A 型墊圈用於一般應用，其設計目的是儘量減少嵌入發生。B 型墊圈分為窄型、普通型和寬型。B 型墊圈也適用於一般應用，但其設計目的是在強度較低的材料上將負荷分散到更大的區域。第三種分類是舷側墊圈。這些墊圈的直徑比 A 型或 B 型墊圈大，通常大得多。這些墊圈用於覆蓋過大的孔槽或在低強度材料的大範圍面積上分散負荷。



圖 1: 大型平墊圈可在較大的接觸面積上分散載荷

公制平墊圈由許多 ISO 規範定義，包括 ISO 887、ISO 7089、ISO 7090、ISO 7091、ISO 7092、ISO 7093-Part 1、ISO 7093-Part 2、ISO 7094、ISO 10669 和 ISO 10673。

未淬火平墊圈通常由鋼製成，具體等級由採購商確定。淬硬英制平墊圈則受 ASTM F436 標準的約束。淬硬公制平墊圈受 ISO 898 第 3 部分的約束。

平墊圈通常有以下用途：

- 在更大的承載區域內更均勻地分配載荷：** 這對於夾持材料較軟或對應力敏感的應用尤為重要（見圖 1）。這類表面的常見例子包括油漆或塑膠表面。在這兩種情況下，能否成功連接取決於能否在盡可能寬的承載區域內均勻分佈載荷。
- 跨越或覆蓋過大的孔洞凹槽：** 夾緊材料中的間隙孔可能較大，以補償潛在的公差堆疊偏差，這種情況並不少見。此外，墊圈還有助於防止螺絲頭嵌入大的間隙孔中，當公差沒有完全對齊時，時常可以允許夾具稍稍偏離中心。
- 增加一些高度：** 有時必須縮短螺絲長度。我在給廚房櫥櫃安裝把手時就遇到了這種情況。以櫥櫃門板的厚度來說，螺牙多了一兩個牙距。結果，螺絲在安裝把手時從盲孔中脫出，導致把手無法緊緊地固定在門板上。在機械螺絲頭部下方加了墊圈後，螺紋就不會再從盲孔中露出來了，螺絲也能順利擰緊。
- 直接或間接幫助密封：** 由軟金屬（如紅銅）、軟密封材料或兩件式粘合設計（鋼與橡膠粘合）製成的平墊圈可提供密封能力。





圖 2: 螺旋劈開式鎖緊墊圈

## 鎖緊墊圈

使用量第二多的是鎖緊墊圈。三種最常見的鎖緊墊圈是螺旋劈開式(圖 2)、外齒式(圖 4)和內齒式(圖 5)鎖緊墊圈。「鎖緊」一詞有點誤導,因為儘管這些墊圈的目的是要保持接合或螺絲「完好無損」,但它們在保證連接件(尤其是螺旋劈開式連接件)的永久性或固定性方面的性能卻是值得商榷的。

**螺旋劈開式鎖緊墊圈使用摩擦力作為鎖緊機制(見圖 3)。**從本質上講,當劈開環被壓縮時,會對螺帽或螺絲頭產生壓力進而「推動」其螺紋。這種額外的壓力應該會在接觸面之間產生更大的摩擦力。這種想法類似於在桌面上旋轉一枚硬幣。在沒有壓力的情況下,硬幣可以自由轉動,但如果將手指放在硬幣上並向下按壓,硬幣就很難轉動。同樣,對接螺紋上增加的壓力也會使螺絲頭或螺帽更難轉動,從而提供一定的「鎖緊」能力。一些專家還認為,劈裂口的鋒利邊緣會埋入接觸面,從而提供額外的固定能力。專家們對上述觀點只是理論還是實際可行存在很大爭議。不管是理論還是實際,大家普遍認為,尤其是在橫向振動等劇烈負載條件下,其鎖緊能力是微不足道的。



圖 3: 劈開式鎖緊墊圈的應用



圖 4: 外齒型鎖緊墊圈



圖 5: 內齒型鎖緊墊圈

英制螺旋劈開式鎖緊墊圈受 ASME B18.21.1 規範。由於它們是由各種不同的材料製造而成,因此產品標準中參考了多種不同的材料標準。

鎖緊墊圈的另一個大類是齒形墊圈。它們有三種不同的類型:外齒型、內齒型和組合型。外齒鎖緊墊圈的外周有輕微彎曲的齒。內齒鎖緊墊圈的內徑周圍有輕微彎曲的齒。組合齒鎖緊墊圈既有內齒也有外齒。這三種墊圈的工作原理類似。墊圈安裝在螺栓或螺帽的軸承表面和夾緊部件的接觸面之間(見圖 6)。當擰緊接頭時,齒會鑽入接觸表面。與外齒墊圈相比,內齒墊圈通常用於直徑較小的頭部。原因很簡單,齒需要來自上方的支撐,因此外齒式鎖緊墊圈週邊的齒需要較大的頭部。與劈開式鎖緊墊圈一樣,「鎖緊」作用也是透過摩擦產生的,因此夾緊負荷的減少會降低這些墊圈的鎖緊能力。不過,這種墊圈在電子連接應用中特別受歡迎,因為「咬合」夾緊材料可以增強電子連接。

## 彈簧墊圈

最常見的彈簧墊圈是錐形彈簧墊圈,通常因其發明者 Julien Belleville 的名字而被稱為貝勒維爾墊圈。它們是真正的彈簧,具有在小空間內承受大負荷的優點。**貝勒維爾墊圈可以堆疊在一起,以平行方向堆疊,或以相反方向堆疊,以串聯方向堆疊。由於堆疊和組合不同厚度墊圈的可能性是無限的,**



圖 6: 外齒型鎖緊墊圈的應用



因此用戶可以實現幾乎無限的結果。貝勒維爾堆疊墊圈可用於任何需要緊湊、堅硬彈簧的地方，在汽車、航空航天和軍事武器領域都有廣泛應用。

貝勒維爾墊圈符合 DIN EN 16983、DIN EN 16984 和 DIN 6796 標準。

其他彈簧墊圈包括方錐墊圈和波形墊圈。方錐墊圈設計獨特，墊圈上有兩個不同的區域，提供兩種不同的負載偏斜率。這些墊圈通常預裝並固定在螺絲 (SEMS) 上，常用於夾緊材料可能比較脆弱的應用場合。波形墊圈的功能與錐形彈簧墊圈類似，只是不能疊加，因此與錐形墊圈相比，反彈力相對較低。

## 特殊墊圈

### 直接張力指示墊圈

這些墊圈是結構栓合組裝中所用的特殊高度工程化墊圈。它們是平墊圈，在墊圈與螺絲或螺帽承載表面接觸的一側有許多突起。這種墊圈經過精心設計，當達到所需的預緊力時，突出部分會重新變平。這種墊圈有兩種變體：「普通款」和「Squirters」。雖然這兩種墊圈都有驗證程序，包括使用塞規來驗證突起處是否已適當壓平，但 Squirters 墊圈在墊圈底部突起形成的凹槽中含有矽，當突起壓平時，矽會噴出，顯示墊圈功能正常。這些墊圈符合 ASTM F2437/F2437M 標準。

### 楔形鎖緊墊圈或斜面鎖緊墊圈

與前面介紹的使用摩擦力作為鎖固機制的鎖緊墊圈不同，這些墊圈在張緊時會楔在一起並將接合處固定到位。這些墊圈由兩個相對的成對墊圈組成（見圖 7）。每個墊圈的一側都有一系列斜面，另一側則有放射狀鋸齒或齒。帶齒的一側緊靠螺絲或螺帽的承載表面以及待夾緊材料的接觸面。斜面與斜面之間相互啮合。當接合處被緊固時，帶齒的一面將墊圈牢固地夾在扣件和被夾材料表面上，楔形凸輪相互滑動，直到它們緊緊地楔在一起。這種鎖定制通常能有效防止因劇烈振動造成的夾緊載荷損失。

### 沉頭墊圈

沉頭墊圈是設計來與沉頭螺絲一起使用。這種墊圈有凹槽，以便讓沉頭螺絲與其啮合，最後與墊圈頂部齊平。雖然這些墊圈通常用於美觀目的，但墊圈確實會比單純使用沉頭螺絲來得更均勻分散負載。因此，它也能提供更好的防震動保護。



圖 7: 楔形鎖緊墊圈



圖 8: 使用粘合密封墊圈的外露金屬屋頂螺絲

## 密封墊圈

外露金屬屋頂螺絲必須提供一些防止水侵入屋頂貫穿處周圍的方法。最常見的方法是使用粘合密封墊圈（見圖 8）。這種密封墊圈是將 EDPM 或氯丁橡膠粘合在平墊圈或小斜面錐形墊圈的底部。橡膠材料形成密封，防止水的侵入，而上面的鋼墊圈則在密封件上提供均勻的載荷分佈，並防止紫外線和其他環境危害。

當然，橡塑膠和軟金屬墊圈本身也可用於密封。

## 材料

雖然大多數墊圈都與螺帽和螺絲一樣由鋼製成，但有時也需要選擇其他材料。因此，墊圈的生產材料與螺帽和螺絲的生產材料相同。比較常見的墊圈材料包括鋼和合金鋼、不銹鋼、鋁、黃銅、磷青銅、矽青銅和紅銅。

## 總結

墊圈在許多緊固連接件的成功應用中發揮著至關重要的作用，儘管人們往往對此不屑一顧。幸運的是，產品設計人員有很多選擇，因此不同的緊固需求都有解決方案。■

