

荷載過量 與不足的扣件

文 / Guy Avellon

扣件的失效有許多形式，多數的失效案例經調查後發現是起因自錯誤的安裝或應用，只有1%是源自原物料的缺陷。因此有必要與顧客開啟對話，以判定扣件的使用狀況。

以下大致匡列出各種錯誤安裝的前因後果。常見的扣件失效大多源自荷載施加過量或不足，但還有很多方式會造成失效。

荷載過量：

荷載過量代表螺栓或帶帽螺絲被拉伸的程度已超過其降伏強度。我們用肉眼就能看到螺紋外型變得像一根狗骨頭，就像被拉伸的太妃糖一樣(圖1)，藉此辨識出失效的發生。



圖1

過載的扣件也會導致接合鬆弛化。如果使用中的荷載大過安全荷載或降伏強度，扣件確實會稍微變長，但仍會持續接合著。若抽掉來自外部的使用荷載，接合部位會回復到放鬆的狀態，但螺栓仍會是稍微變長且看起來鬆弛的樣態。螺栓外形可能不會像狗骨頭那樣，但它的牙距會改變。

每次固定檢查牙距總是最好的，因為不一定每次都能透過肉眼看出螺紋的變形。對疑似有問題的扣件檢查牙距時，會用到牙距規。如果手邊沒有牙距規，可以用一支直徑和牙距相同的新螺栓來比較扣件的牙距。你只需要把新螺栓整條放在可能有問題的螺栓上。

檢查整條螺紋是很重要的，因為在螺帽固定住螺栓的部位上，或是帶帽螺栓前五條左右位於攻孔內的螺紋，是不會有牙距的變化。這是因為張力的拉伸作用和螺紋的變形只會發生在螺帽和螺栓頭之間部位。

成因：

• 不適配的扣件強度等級

- 螺栓強度不足以承受施加的荷載而將發生降伏。
- 抽掉外部的荷載時，螺栓可能會失效或鬆弛。
- 如果螺帽不適配螺栓的強度，螺帽就會失效。

• 扭力不正確

- 這可能代表沒有使用量測方式，且/或有上潤滑劑。
- 這也可能代表並未依據用途的條件施加適當的扭力，不論其條件關乎環境、溫度、表面處理、潤滑劑等等。

• 潤滑

- 所有的扭力表格列出的數值都是適用於「原有狀態」的產品，大多都是「乾燥狀態」的產品。
- 市面上有很多潤滑劑，其中某些比其他的更有效率。因此，扭力值必須依每一個種類的潤滑劑做調整。
- 螺栓在被張力拉伸的狀態下，潤滑劑會減少耦合螺紋之間的摩擦力。因此，通常會減少扭力值，使它遠低於扭力表格上的數值。
- 對上了潤滑劑的扣件，使用適於「乾燥狀態」的扭力，或者乾脆不施加扭力的話，通常會使扣件被拉伸而進入塑性變形的範圍，這時會遠超過降伏點。

• 動力扳手

- 氣動或油壓力都需要仰賴壓力。除非可控速，不然就沒有能精準施加扭力的方式。
- 氣動扳手速度遠比油壓扳手快，不過兩者都是試圖透過摩擦來使扳手停下來。如果有上潤滑劑，就沒有多少摩擦力可以使扳手停下來。因此，扳手會持續撞擊或轉動，直到扣件超過了降伏點。
- 例如普通的 $\frac{1}{2}$ "無控速衝擊槍的起始衝擊扭力是425 lb-ft，這會使潤滑過的 $\frac{3}{4}$ "-7/8"的八級強度螺栓發生降伏。
- 扳手套筒重複撞擊螺帽頭部六個角(圖2)，造成螺帽的損傷以及肉眼可



圖2



見的變形，藉此可得知已經過度使用衝擊式扳手。

• 施加扭力的速度

- 即使是強度適配的螺帽，在扭力施加太快的狀況下，遇到有意或無意間施加的潤滑劑時，仍會磨損螺紋。
- 如果是高速組裝的話，螺栓很可能會被拉伸而降伏或斷裂，因為在碰觸到表面之前，高速會降低摩擦力。
- 速度也會產生回彈的效果，在某些情況下會使扣件被拉伸而降伏，因為壓縮力會使接合部位的材質回復原形狀。

• 升溫

- 部位的材質會隨熱而擴張。
- 若扣件在接合時被鎖得很緊，部位的擴張可能使扣件被拉伸而降伏。
- 這會導致接合部位的螺栓在冷卻時發生鬆弛。所以再提醒一次，要檢查牙距。

荷載不足：

若沒有把帶帽螺絲鎖得夠緊，以產生比施加的扭力還要更高的夾持力，金屬疲勞的現象就會使扣件失效。

疲勞失效會發生在經過熱處理的金屬，最常在動態波動扭力很高的組裝件上遇到。這種狀況的最高荷載不會出現在安裝過程中，而是在安裝後，也就是設備開始運轉以及很大的初始荷載撞擊到接合部位的時候。此時帶帽螺絲的拉伸強度就算遠大過其使用中的荷載，也可能會失效。

這種失效的發生機制很類似掛大衣的吊線重複彎折，金屬會因為重複的動作而疲乏，發生某種程度的「冷加工」效果，使金屬趨向應力斷裂的後果。這種促使發生應力斷裂的因子會繼續散布在金屬的晶界，直到沒有剩多少橫切面來支撐使用中的荷載或下一波撞擊，接著就會突然斷裂。這狀況就像帶帽螺絲鎖不夠緊來產生比它所承受的荷載還要更大的夾持荷載。

應力也可能因為其他因素而發生，包括(尺寸或形狀突然的變化而產生的)空隙、缺陷、刮傷或金屬表面上的不連續性。一旦產生裂縫，每次再施加撞擊力，裂痕就會延伸到螺栓的核心，直到金屬的剩餘面積不足以支撐下一波撞擊，此時就會立刻發生全面性的斷裂。

促使發生應力斷裂的因子很典型的現象是，會出現在螺紋的尾部，或在螺帽外的第一條未耦合的螺紋上。若螺栓頸下的半徑被刮傷或損壞，產生應力的因子就會出現，螺栓頭部會很劇烈地分離。

金屬疲勞產生的表面紋路會有如圖3所示的貝殼狀紋理(或稱沙灘紋)。



圖3的扣件斷裂發生在七點鐘位置上，裂痕穿過螺帽本體，最終的斷裂出現在深黑色的區域。從深黑到淺黑的帶狀區域顯示出使用的荷載的頻率和強度。

圖4顯示某些斷裂的例子可能會有多个產生應力的因素。



成因：

• 不適配的扣件零件

- 檢查螺栓和螺帽的強度標示以判定相容性。
- 強度2的螺帽搭配強度8的螺栓只會產生強度2的強度。



• 內埋

- 如果能在接合件的表面或平墊圈內看到螺栓的頭部印記，就代表已經遺失了夾持荷載。
- 只要每英寸的荷載長度發生0.001"的螺栓鬆弛，就會失去30,000psi夾持力。
- 持續施加的荷載撞擊會使螺栓進一步往內埋並失去夾持荷載。

• 螺紋或攻孔內的碎屑

- 螺紋干涉的程度會增加螺紋的摩擦力，造成錯的扭力讀數並降低夾持荷載。

• 毛邊

- 毛邊是不均勻的表面，可能使接合件表面無法保持平坦和平行。
- 多餘出來的金屬會在使用過程中更加壓縮，導致接合件鬆弛化。
- 毛邊的邊緣可能會插入帶帽螺絲的頸下部位，產生促使應力發生的因子，或導致產生金屬疲勞的缺口效應。

• 扭力不足

- 太多扭力會使扣件發生降伏。扣件會弱化並承受更高的使用中扭力以及更高的螺紋應力。
- 太少扭力就會使應力馬上產生在螺紋上。
- 大量的動態荷載會出現的條件，是要對承受「使用荷載」後的扣件重新施加扭力。使用中的荷載會使接合部有某種程度的鬆脫。

• 不正確的扭力施加方向

- 對扣件施加全部的扭力，會使某些螺栓更緊，也使其他螺栓變鬆，就算你是用交叉移動的方式施加扭力，結果也是如此。
- 妥善的流程是用交叉移動施加的方式，逐步增量地鎖緊扣件。

• 重複使用螺帽

- 螺帽會比與其耦合的螺栓材質更軟，這樣螺紋就能乘載螺栓的螺紋擴張時的荷載。這會產生螺紋扭曲變形，使螺紋摩擦力增加。
- 扭力是摩擦力的一個作用。因此，任何增加的螺紋摩擦力會減少對螺帽和螺栓施加的扭力。
- 螺帽每次重複使用時，會繼續產生更多螺紋摩擦力和較少的夾持荷載，即使對它施加同樣的扭力值也是如此。
- 除非你有搭配使用潤滑劑。

• 在同樣的接合件中使用不同強度的扣件。

- 接合件會產生比強度較低的螺栓還要更少的夾持力。
- 如果對高強度和低強度螺栓施加同樣的扭力，會產生比低強度螺栓更低的夾持荷載，原因就在於材料強度和扭轉力，而非軸向張力。

• 接合件鬆弛

- 以上皆是。

扣件的失效還有其他原因，雖不常見但仍是重大失效的原因之一，這一點我會在下一篇專文中進行解答。■

雜誌 x 網站 x 展會 匯達助您布局全球

