



概述螺栓的失效



文/ Guy Avellon

螺栓失效的原因很多，也有很多方式造成失效。透過動力工具來鎖上小型扣件時容易發生扣件失效。特別是螺紋長度太短的話，比較長的扣件在高動態荷載的應用過程中會容易失效。

到底要鎖入接合介面到第幾條螺紋？

在某些條件下，太長的扣件失效的速度可能會等同於太短的扣件。

首先，扣件的螺紋數不會改變扣件的強度。扣件承載的單個或多個力道足以將其折斷或伸長至降伏點。但不論整支零件是否符合強度與級別，或有多少條螺紋還留在接合介面或夾持區域中，或是否有與螺帽的螺紋完全咬合，扣件的性能都會改變，安裝方式也會影響到扣件。

只要有與螺帽所有的螺紋完全咬合或完整接觸到，強度就不是取決於超出螺帽的螺紋數。重點是在於接合介面範圍內的螺紋數。材料被夾住的整個厚度就是接合介面，又稱為夾持區域。在夾持區域範圍內的螺紋稱為「未咬合的螺紋」，因為沒有接觸到任何互相耦合螺紋。當然，未咬合的螺紋數取決於超出螺帽的螺紋數。

一支有螺紋的扣件含有不同的彈簧係數，扣件從頭部、桿部到螺紋部位，每個部位都有不同的應力荷載，且伸展率也不同。扣件頭部與螺紋尾部之間的螺紋部位、超出螺帽的第一條螺紋、攻孔內的夾持區域，才是扣件處在張力之下應力集中度最高的部位。未咬合的螺紋在動態荷載之下會有吸收衝擊的作用。

圖1是一支接合的扣件，並未有螺紋超出螺帽的邊緣。螺帽內的第一條螺紋並不完整，是一個導螺紋，因此不會傳遞多少使用中的荷載。螺帽的螺紋甚至可能會在鎖緊的過程中滑牙，或者因為荷載分布不完整而使接合介面失效。

此外，有一個重點是圖1的螺栓螺紋並不在接合介面的範圍內。

圖2顯示的是正確的組裝。約有兩條螺紋超出螺帽的邊緣，讓接合的夾持區域容納最多條未咬合的螺紋。這促成了能在安裝過程中吸收衝擊、震動荷載或重擊。

扣件的螺紋非常重要。螺紋的延展程度比扣件的其他部位高得多，因此有更高的應力。在軸向張力測試中，F606與F606M這兩種ASTM測試標準要求標準扣件的夾持區域範圍內至少要有六條完整的螺紋，要求A325 (F3125/F3125M)帶帽螺絲等等螺紋長度較短的建築扣件最少要有4條完整的螺紋。

如果螺帽或測試用的頂桿太靠近螺紋的尾部，取得的張力讀數就不會反映扣件的真實屬性。剩下幾條螺紋上的應力就會大的許多。

建築扣件(例如A325與A490)的螺紋長度短於等級5與8的標準SAE 扣件以及ASTM的同級扣件ASTM A449與A354。這是要確保扣件桿部的整個直徑是在建築用接合介面的剪切面範圍內，並保護螺紋避免發生介面剪切。

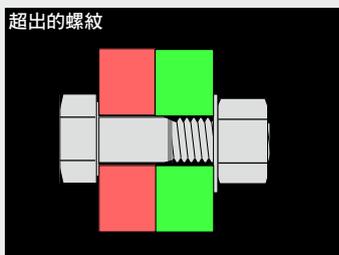


圖1、接合的扣件

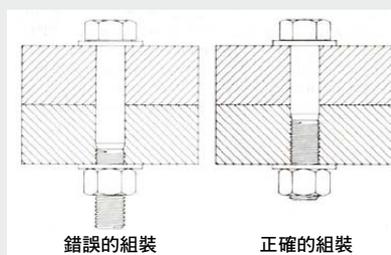


圖2、正確與錯誤的組裝

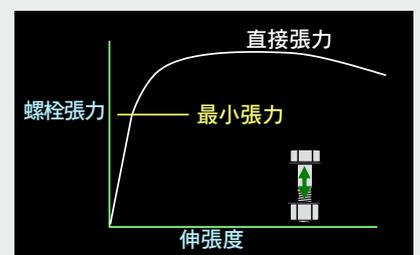


圖3、張力對比伸張度



這就使組裝有變數，因為在扣件的生命週期中，最關鍵的是何時鎖緊扣件。圖3顯示張力這單一力道的軸向張力荷載。

但當張力與另一個力道結合時，例如在鎖緊過程中與扭轉力結合時，力道的結合作用在扣件上會使導致失效所需的力道急遽降低。圖4顯示安裝扣件過程中張力和扭轉力結合時會發生什麼事。一旦扭轉力停下來，荷載就會分散，只剩下張力留在扣件上。

在組裝過程中鎖緊螺帽或螺栓時，任何快速、急遽的猛拉動作可能會造成很大的破壞。這也是為何使用未適當調速的動力組裝工具或衝擊式扳手可能使扣件提早失效。

扣件所能及的夾持荷載無法高過其最低降伏強度，再多施加鎖緊力只可能會導致扣件失效。然而，圖3顯示直接張力所產生的荷載，相較於圖4顯示藉由扭轉螺帽所產生的張力，這兩者顯示出扣件的延展性以及可承接更多荷載的量。使用中的荷載包括剪力與直接張力。扭轉力不會再產生。要注意圖4的扣件中超過最低張力的剩餘強度，以及增加的可能延展量。

未咬合的螺紋是安裝過程中的關鍵。扣件必須在組裝過程中有能力吸收某些量的扭轉力。接合介面(夾持區域)範圍內的螺紋數越多，螺紋就越能以更少的應力來吸收荷載(圖5)。因此，如果動力扳手的組裝速度太快或扭力已高達臨界值，未咬合螺紋數很少的扣件就有可能會失效。

舉例來說，如果螺帽位置越接近螺紋尾端，螺紋上的扭轉應力就會越高。我們當然不想讓扣件那麼短，讓螺帽鎖緊扣件的桿部而沒有產生出扣件的張力。

假設我們把三支相同的扣件放入接合介面，使第一支扣件的未咬合螺紋長度僅有1英寸，使第二支的有2英寸，使第三支的有4英寸。然後再使用有荷載值標示的扭力扳手來鎖固每支扣件，使扣件都失效。

如圖6所示，顯然接合介面內螺紋長度較短的扣件會更快產生完整的張力，而其他扣件的延展性則高過未咬合螺紋數量較少的扣件。然而，這些比較長的扣件需要再多加延展才能產生完整的可夾持力。扣件越長，就越能吸收扭轉力。

這一點也可透過套用虎克定律來展現。我們把計算過程簡化，如果我們把處在張力狀態下的扣件延展0.001”，在夾持區域範圍內每一英寸長的未咬合螺紋就會產生約30,000 psi的夾持荷載。因此，夾持長度為2”的扣件需要延展0.002”的長度才能達到同樣30,000 psi的夾持荷載。

簡單來說，接合介面中的未咬合螺紋數越多，接合的韌性就越高。圖6顯示未咬合螺紋長度為4”的扣件延展性，比未咬合螺紋長度為2”的扣件高出將近兩倍。鎖緊較長的扣件也需要更多轉動螺帽，這一點可以透過螺帽轉動法來實現。

接合介面範圍內的螺紋增加，剛性就越減少，抵抗金屬疲勞的抗性會增加。螺紋的作用是吸收衝擊。未咬合螺紋數越多，平均分散在所有未咬合螺紋上的外部衝擊力和循環荷載量就越多，這會減少每一條螺紋上的應力。

舉例來說，假設接合介面的夾持荷載是10,000磅，且使用的扣件對接合介面來說太長的話，會使接合介面範圍內的未咬合螺紋只有兩條。然後一個突然的衝擊，使接合介面的荷載增加到10,500磅，扣件必須吸收螺帽承壓面與螺栓頭部之間的螺紋上多出來的500磅荷載。這代表兩條螺紋中的每一條螺紋必須支撐250磅的瞬間衝擊力。這最終將在螺紋底部產生應力成形因子與金屬疲勞。

如果選用長度較短、適合接合介面且未咬合螺紋為10條的扣件，每一條螺紋需要多吸收的衝擊荷載量只有50磅而非250磅。這支扣件的使用壽命會變長很多，且可能不會再發生金屬疲勞，因為應力的量大幅降低了。

所以沒錯，超出螺帽的螺紋數的確有差。太多則不會留下很多螺紋在接合介面內吸收組裝的扭力；太少則可能代表螺帽沒有完整的螺紋咬合力來支撐螺栓的荷載，而且螺帽可能會滑牙。螺帽的邊緣外至少要有兩條螺紋以確保咬合完全。

以肉眼檢查含有多支扣件的接合介面時，注意一下，如果有其中一支螺帽超出的螺紋數多過其他扣件而且你已知道所有扣件的長度都一樣，你就要去了解那些多出來的螺紋是從哪裡冒出來的。超出螺帽邊緣的螺紋數量應該都要相同才對。這種情況下大多可能是扣件已經被拉伸到降伏點了。

你要找出原因並替換掉扣件。

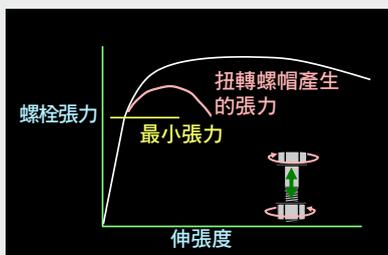


圖4、張力對比伸張度

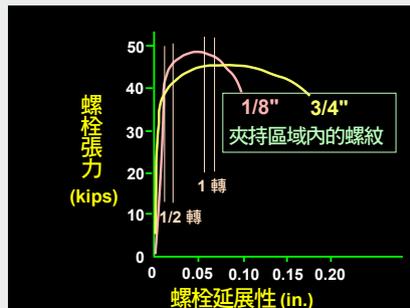


圖5、夾持區域內單一螺紋減少了延展性

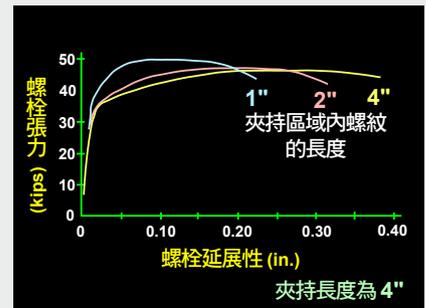


圖6、夾持區域內螺紋長度的影響

