

汽車是複雜的機械，擁有許多不同的系統共存和交互作用。雖然與其他部分共構，但這些系統每一個都存在不同的環境且有不同的性能要求。如同這些系統可以組成一台完整的車子一樣，每一個系統也是由多個零組件組成，包含很多扣件。每支扣件都必須經設計和確認以保證它們置於複雜的運作環境中可以如所想的發揮作用。

設計師必須要做的最關鍵選擇之一是扣件的強度。雖然這聽起來很直接，其實不會。扣件所需的最終強度是由許多不同的變因共同產生的作用，包括該扣件被置於車用系統後所需面對的苛刻環境、汽車所暴露的環境，它作用時的溫度範圍，多少其他扣件會被使用，以及各種類似要素。

扣件強度對於判定其所鎖固的部分和系統是否能適當地運作極度重要。舉例來說，我想到先前有一個熱處理流程中因處理部件失靈導致後續經過適當熱處理部件和熱處理失當導致強度太軟的部件混料的品質問題。這是相當危險的情況，因為被正確加工處理的部件强度高，提供所有必需的預負載來產生所需的拉力。雖然大部分錯過熱處理的部件在安裝時就會因扭力大而斷裂，能夠被輕易地偵測出來，但不幸的是，並非所有都行。這個結果要透過一連串的控制、偵測和更換所有引發問題的產品。作為如此瘋狂行動的典型，其讓所有牽涉其中的各方都付出情緒上和財務上的顯著代價，尤其是那些讓已產生問題的部件流出系統的扣件製造商。

汽車扣件強度

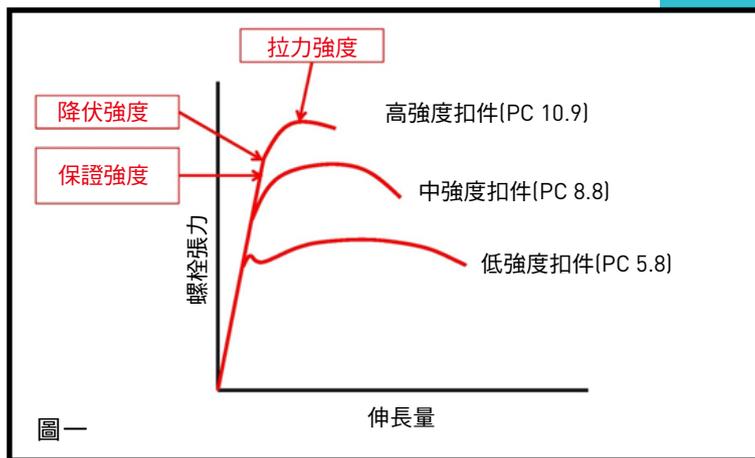
文/Laurence Claus

什麼是扣件強度？

材料的屬性指的是材料的特性或性能，與部件的大小無關。應力或負載不是其屬性。不過，在某些事情（通常是不好的）發生前，原料可以承受的有限應力或負載則是屬性。這是大家所熟悉的材料強度。以工程術語來說，應力是材料或部件可以忍受分散在表面區域的負載（或應力）。在英吋系統，這通常以psi（每平方英吋的磅數或 lb_f/in^2 ）標示，公制則用MPa（每平方公釐的牛頓或 N/mm^2 ）標示。在這樣的方式下，我們了解到為什麼兩種不同尺寸的部件可以有相同的強度等級，但其真正的機械性能卻不相同。

在扣件世界裡，有許多公認的業界標準提供使用者標準強度或分類的指引。在車用的領域，最常被引用的標準是ISO 898螺絲、螺栓、螺柱標準（第一部分）和ISO 898螺帽標準（第二部分）。這些文件藉由分類多種強度等級（最常見的就是外部扣件的5.8/8.8/10.9/12.9級和內部扣件的5/8/10級）來定義標準強度準則。

這些屬性分類定義出三種重要的強度等級：降伏強度、拉力強度和保證強度。圖一顯示綜合三種不同螺栓強度狀況的標準應力-應變（螺栓荷重及拉伸）曲線圖。Y軸代表應力值，而X軸代表材料（或扣件）的應變量（或伸長量）。曲線圖很明顯可看出材料在小量的延伸量後開始出現線型曲線。這個表現最終會出現變化，然後材料會開始塑性延伸直到斷裂。此拉力強度是材料斷裂前所達到的最高應力點。線條從線性變成非線性（或彈性轉成塑性）的點為降伏點（或降伏強度）。保證強度是一種應用在扣件的概念，代表介於降伏強度85%至95%之間的強度。達到這樣不產生塑形變型的荷重提供我們足夠的信心證明強度的屬性是正確的。它也常被用來在不必實際破壞它的前提下驗證扣件。



什麼是不同的強度命名系統？

在公制系統中，強度的命名被稱做屬性等級。ISO 898（第一部分）有10個不同的標準屬性等級，從4.6級開始到12.9級結束。在汽車領域，兩種最常見的屬性等級是8.8級和10.9級，較少用的有5.8級、12.9級和12.9級。ISO 898（第二部分）中，螺帽的屬性標準只有5種：5、6、8、10和12。

公制的屬性等級命名是有巧思的。換句話說，這些數字代表了一些意義。第一個數字代表了兆帕最小公稱拉力強度值的百分之一。以8.8級為例，第一個數字8告訴我們公稱最小拉力強度為800毫帕。跟在小數點之後的第二個數字則指出最小的降伏強度。不過，它不像第一個數字指的是一個實數而是最小降伏強度對拉力強度比例的十分之一。所以重新回到我們的例子，屬性等級8.8中第二個8表示拉力強度的80%或640毫帕的最小降伏強度。

雖然英制在概念上有點類似，但卻有很多不同之處。最明顯的就是數值和單位為英制，但強度的命名為等級（Grade）。最常見的英制等級為SAE J429的英制外螺紋扣件標準和SAE J995的英制內螺紋扣件標準。這些標準實質上標出三種等級：2、5、8。等級5大略近似於公制8.8級，而等級8大略近似於公制的10.9級。英制沒有近似公制12.9的級別。



我們如何達到不同的屬性等級和強度級別？

基本上很多扣件一開始都是從相同或稍微不同的材料做出來的。如果一開始用的材料都差不多，我們要怎麼讓成品變成不同的強度等級呢？答案相對簡單。製造過程會影響它們後續如何變化來滿足這些要求。這可以透過使用不同的材料及／或調整熱處理流程來達成。所有強度較高的扣件都要經淬火和回火熱處理。在這階段材料會被加熱至關鍵溫度直到內部形成大量聚集的同質性高溫結構鋼—奧斯田鐵，然後再淬火至高強度結構鋼—麻田散鐵，然後再回火讓部件回復一些韌性。透過材料和加工參數的改變，部件可以被轉變成所要的8.8級、10.9級和12.9級。

哪些地方需要不同強度的扣件？

若回去看圖1，該圖除了顯示不同扣件的強度等級外，曲線圖也幫助呈現相同尺寸的較高強度扣件可以產生較高的接合張力。這是設計師要了解非常重要的概念，因為它能幫助他們根據所需的預負載來指定適合的扣件。換句話說，如果一個關鍵接合需要最大量的預負載量，設計師絕對不可能會選擇低強度扣件。

多年前我遇過一個非常慘痛的案例。我當時幫一位客戶進行某件計畫，這計畫必須接觸他們很多大客戶並一位一位進行分析節省成本應用工程改善的可能。我記得有一個使用很多螺絲來固定木板到產品底部以便在運送中做好保護的應用案例。這些板子和搭配的扣件在抵達目的地後會被移除丟棄。我看了看這些用來緊固臨時木板的螺絲，很驚訝地發現它們都是等級8的螺絲。這是很讓人訝異的發現，因為在這樣特殊的應用中，只需要最小量的預負載，但是這些螺絲卻可以產生很高的預負載。這些沒有被使用到的預負載力會對組裝者或末端用戶產生無法回本的溢價損失。

在汽車的世界裡，每輛汽車使用了各式各樣不同強度的產品。用以打造汽車和系統的公制螺紋形式非常有可能80%都是8.8/8級和10.9/10級。8.8/8級解釋了標準、正常荷重的應用，且用以維護安全和長時間鉗緊力的高預負載在這裡不是強調的重點。有人可能會快速想到引擎室、後車廂空間或儀表板下的經典案例。就像很多8.8/8級扣件可以輕易被發現用於在這些地方固定部件一樣。10.9/10級的扣件則會被發現用於必須有較高預負載的應用環境。在觀察引擎室時可以發現大量這類的例子，但很多是在看不到的地方，像是避震、煞車、轉向桿和內引擎部件。最後，12.9/12級是用於超高荷重的應用環境，像是內部傳動軸的部件。連結桿螺絲、頭部螺絲和許多關鍵的內引擎部件可能都需要這樣高的強度。引擎的效能越高，就越可能需要這些高強度扣件。雖然較高強度的等級提供產生較高預負載的能力，它也不是完全沒風險。這些高強度螺絲需要較嚴格的安裝管控，因為它們無法承受太多因安裝不良所導致的危險，且它們很容易產生氫脆。

這邊要很注意的是前面的討論都侷限於60度螺紋角的公制扣件。標準的高強度或設計應用上需要特別注意的車輛還會用到螺紋成形螺絲、拉釘和夾件。類似這樣的例子有使用於固定座椅安全帶錨栓的扣件。這些通常都是需要相當設計精密好讓車禍發生時可以發揮適當性能的螺紋成形螺絲。

強度與溫度：

雖然在汽車應用上不若航太應用中那麼重要，汽車廢氣排放的溫度仍高。概念上我們從生活經驗中了解到材料變得越熱越容易進行成型彎曲，但強度卻會減弱，這在一些暴露於高溫廢氣流的內引擎區域或部件（像是EGR組合閥、廢氣歧管螺柱和渦輪增壓器熱的那一面）可能產生危險。



圖2. 引擎蓋下方托架上的8.8級扣件



圖3. 轉向桿連接處上的10.9級扣件

在這些案例中，設計師可能會要求扣件要比正常鋼料具備更高的強度等級。當這些需求增強時，設計師將被迫使用「抗腐蝕和抗熱」的材料等級。一般來說就是不鏽鋼和鎳合金。

哪邊需要使用到抗熱扣件？

雖然引擎的內部變熱，但因為移動的內部組件會上油潤滑並用水冷卻，所以多數內引擎部件是可以使用標準的高強度鋼料。使用於排氣管的組件則是例外，因為該處沒有冷卻。因為這些部件可能高達上百度，所以需要更特殊材料製成的扣件。廢氣歧管螺柱就是一例。雖然也不一定都是用特殊材料製成，很多都是用鎳—鐵合金A286進行製造。A286可以達到高強度水平，同時在溫度提高至約華氏1200度時也能維持如此水平。另一個可以看到使用A286扣件的地方是在排氣管或渦輪增壓器熱的一端。溫度提高時，高強度的穩定度仍需要被維持。在不同的案例中，汽車火星塞的中央電極常以718合金（Inconel鎳鐵合金）製成，這是一種鎳基超合金。這是一種會產生火花的部件，它若不是以可承受高荷重的材料製成將會很快斷裂。

結語

總結來說，強度是汽車扣件設計時非常重要的標準。設計師必須考慮到扣件要承受多重的重量以及哪一種強度等級或材料最適合達到這樣的目的。在高溫環境應用中，標準甚至高了好幾倍。幸運的是，扣件製造商有很多優異的材料和加工流程可以選擇以達到他們客戶的需求。

