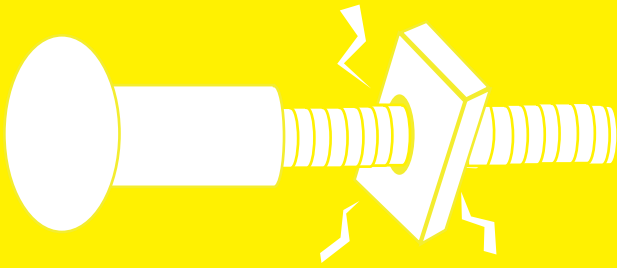


# 螺紋亂牙

文 / Thomas Doppke



**許**多組裝線上緊固件所遭遇的問題，並不完全是緊固件本身的錯誤。與緊固件無關卻會影響組裝故障率的因素有下列幾項：工具（類型、速度）、生產線的速度（部件組裝速度）、接合部位的設計（包括所選用的緊固件類型）、接合所在位置是否方便安裝，甚至於部件彼此交接的方式（如何「成為一體」）等。

「從前如何……。」總是資深老前輩開始說故事的方式，但是現今組裝線移動的速度比以前快得多，必須配合顧客，更快速地生產大量低廉的產品。這將導致緊固件的使用方式產生改變，但是這種改變通常讓人渾然未覺。本文是關於螺紋的亂牙（交叉錯扣），就是發生在緊固件無法與偶合部件契合，發生卡住的故障情形。

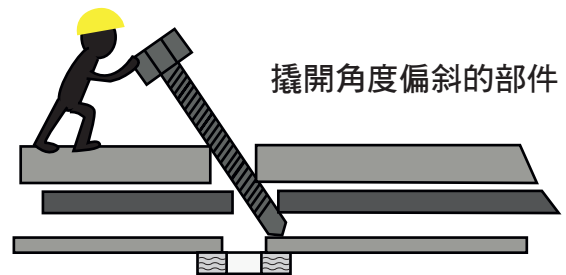
「從前」以手將部件送入偶合組件內，然後以工具栓緊，使之牢固。現在常用的緊固方式是將螺栓放置於工具套筒內，然後轉動工具，將緊固件塞進偶合孔內。明顯可見的是，如果螺紋無法正確契合，整個生產製程將全部停止。雖然緊固件卡住聽起來不像是大問題，但試想一下，這種狀況發生多久之後才得以排除？生產線將因此停機多久？這幾分鐘時間的成本又是多少？還有，螺紋亂牙部件的成本又是多少？低成本的部件可能就丟棄，但是如果剝損的螺紋正好接合在引擎或是非常昂貴的電路板上呢？這些問題有多少能夠當作常態製造成本來吸收？

過去有研究探討「螺紋亂牙」發生的原因。從簡單到繁瑣的各式各樣起因，以及因應的方案。其中一個故障情形是重複發生在組裝線單一邊性的螺紋亂牙，組裝線兩邊都用相同緊固件，但僅有單邊出現剝損問題；調查還發現問題只出現在一名操作員身上，這個位置的操作員比起組裝線另一側的操作員個子矮，他必須探出頭手來驅動緊固件，但他對驅動面用的不是正常的驅動角度，甚至偏離常態 $30^{\circ}$ 至 $45^{\circ}$ 。因此，只要讓這個操作員站在平台上工作，這個問題就解決了。

通常，設計師注重物件外表的美觀，這可能導致緊固件隱藏在看不見的地方，通常是背面或其他部位的下方。在這種情形下，操作員必須以異於常態的位置和方向組裝緊固件。除了人體工學方面的問題以外，上端朝下倒置式的組裝以及所有非垂直和朝下的組裝通常會引起問題。

螺紋亂牙通常起因於選用錯誤類型的工具。舉例來說，操作人員若是要探出頭手才能對準螺栓，就必須使用側角螺帽扳手。這種情形常見的例子是車內安全帶螺栓，操作人員在進行安裝時，幾乎完全看不見螺栓。

經調查發現，許多剝損問題影響因素與生產製程有關，而非關螺栓和孔。焊接時飛濺至內部螺紋上的金屬碎屑足以使螺紋完全剝損，在高速度安裝時更是如此。微小的焊接金屬碎屑在有塗裝處理的接合部位容易被忽略，常待螺栓剝損才被注意到！而浮渣、細屑、塗裝和其他連帶的碎屑也常被忽視，都非得等到緊固件安裝失敗時才會發現。



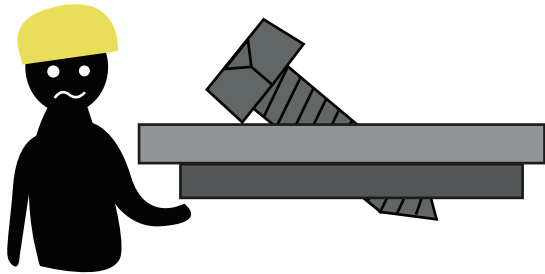
撬開角度偏斜的部件

此研究略過非關緊固件的因素，探討其他與安裝有關的主要因素。金屬件對正度不良（以下有詳細討論）被認為是導致緊固件剝離和安裝角度偏離的主要原因。常見許多構件（由幾層金屬片組成）的內螺紋部件與若干穿通孔並沒有對齊，促使螺栓旋入角度必須呈銳角，否則無法旋入。裝配廠經常使用「AC」尖頭型緊固件（以AC頭端部位的螺紋上達到圓錐頂端），操作員把這種緊固件當作撥開用的棒子，將一層層的組件「拉」齊。

發生卡住狀況之前，部件通常已部分旋入，裝配廠會用大型槍多次修正任何偏斜的接頭。如果馬力足夠，那種旋入的方式足夠讓緊固件鑿穿牆壁。焊接螺帽偏離中心位置被認為是另一個由於偏心導致剝離的常見原因。焊接部件若安裝偏心，將導致孔隙彼此不對齊，除非破壞焊縫，否則無法撥開對齊，且焊有穿通孔的板子也不能彎曲來配合安裝。設計師一向認為他的緊固件可以解決他所有對齊的問題，他們很少想到緊固件卡住、螺紋亂牙，或者位置不正的效應對於接頭所承受夾緊負荷的影響。



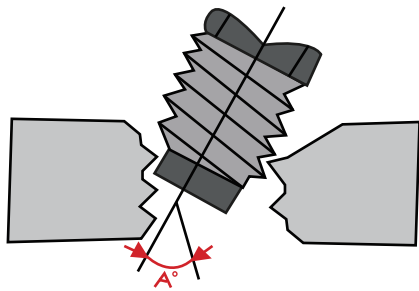
向下說明之前，必須先談談一個有關螺紋接合不良卻亂牙的重點。除了上述有關緊固件卡住螺紋並導致昂貴部件剝離的明顯問題之外，應該注意的是，亂牙的緊固件在許多情況下還是可以驅動所需的扭矩值。在高速組裝的現代，操作人員不會停下來目測檢查每個驅動接頭。



**費了1千公斤的工具力，螺絲還是進去了!**

螺栓安裝是「邊轉邊啟動」，運轉到工具關閉設定值（即是規範的扭矩值），然後繼續下一個安裝。螺紋亂牙的緊固件，如前所述，可以被驅動到工具停止，但維持接合處完整性所需的張力卻不存在，隨之而來的是現場故障、品質不良和客訴！

目前通用的緊固件還帶有柱端，這就是螺紋亂牙規律發生的事實證明。這些帶有柱端的緊固件產品顯然是用來解決螺紋亂牙的問題，但是效果並不佳。以下詳細說明它們的缺點：



螺紋亂牙常在部件以偏斜角度結合時發生。如上圖顯示，隨著緊固件無螺紋部分長度（導桿端）的增加，螺紋能夠契合的角度（ $A^\circ$ ）變得越來越少。目前大多數的部件可以偏離垂直大約5度的角度（正常內螺紋）契合（螺紋亂牙）。此研究的基礎在角度的大小，並詳細檢查螺紋起始位置。緊固件有螺紋的AC錐端或某種突出端當作撬桿使用，只會損害螺紋導致螺紋受損剝離。

有關螺紋亂牙的調查，包括一項已經在市場上流通的研究，聲稱能夠防止螺紋亂牙。該項研究包含14種使用過或公開發表的緊固件頭端，其中幾個是專利特用。

研究使用一個恆速運轉和頭端部位負載重量一致的裝置作為測試基台，以M6和M8直徑為準，每一種頭端類型取25個樣本，以5個不同的角度（7、9、12、15、和25度）運轉至一個定位裝置內，該定位裝置允許緊固件移動，以便在可以契合時完全驅動。而在測試過程中發生了兩個狀況：「螺紋亂牙」，一般定義為螺紋卡住，造成安裝動作停止；另一項是「無法啟動」，也就是緊固件在指定的角度沒有沿著螺紋前進，只在孔內原地旋轉。無法啟動不被認為是故障，因為組裝線上的操作員知道若是部件沒有契合，會晃動部件直到契合，但是這些狀況後的嘗試仍然可能導致螺紋亂牙的狀況。



使用於研究的典型頭端類型，從左到右為：修正型導桿、AC、圓頂型 1、圓頂型 2、長削頭端、短削頭端

所有可用的頭端都屬於兩種基本設計類型；有一延長的頭端部位（導桿、柱端或一些同類的改型）和一外型特徵，通常是斜坡狀構造。為了比較對照，也包括AC頭端和現有柱端的設計。



修正的頭端



斜坡特性，長度因製造商而不同

結果發現，就螺紋亂牙的發生而論，導桿頭端部位越長，問題越少。但是，長50mm的頭端雖然可完全消除這個問題，但其負面影響是顯而易見的。許多專利和設計都採用這一概念再行修改。結果發現，為使操作正確，導桿頭端直徑必須盡可能加大，並視實際使用加長。業界標準的「端柱」以某種形式說明了這個概念。但是，既然端柱的尖端直徑比其他設計窄，在內螺紋孔內晃動，契合時還是會亂牙。較寬的導桿頭端不允許這種移動也不形成契合，除非等到頭端在內螺紋內定位，並且導桿夠長。有一種流行的頭端已將螺紋主要直徑減少到接近圓形，並且截去先導螺紋極小的紋圈，使能增加整個導桿的長度。

斜坡設計部件的不同變化在於側邊刨出的斜坡長度。有三種不同的斜坡設計進入測試：長度遞增，斜坡最長的性能最好。部件推入孔中若無法對齊，只在孔內原地旋轉，則判定為「無法啟動」。一般而言，大部分的測試角度都能進入，並有效對正，且正確安裝。這些類型部件的問題是沒有立即契合時，與工具機同樣高速旋轉，可能造成引導螺紋圈上的螺紋磨損，促使螺紋亂牙，如同一種「後」加工效果。

## 廣泛測試計畫的觀察和結果也發現其他幾項事實：

99

一、**安裝開始時，螺紋彼此的朝向發現具有影響。**在扣紋開始時，若是起始的母螺紋與起始的公螺紋成180度位置，螺紋亂牙的機率是32%。以「邊運轉邊啟動」的製程而言，我們沒辦法避免這種情況發生。

二、**起始螺紋位置和頭端設計相互作用的效應**（起始螺紋在頭端設計中的位置），對於螺紋亂牙的影響大約是25%。

三、**頭端樣式對於螺紋亂牙的影響約是56%。**然而在工廠實際條件下，螺紋亂牙並不經常發生，若是發生了，會持續不斷發生，必須使用特殊部件，否則問題無法解決。

### 測試數據彙整如下：

- **螺栓相對於孔位5° 以上，螺紋錯扣開始發生。**
- **幾乎所有頭端都出現出少數螺紋亂牙的部件和少數的「無法啟動」。**全部的故障來自7種特殊頭端，隨著安裝角度增加，無法啟動和螺紋亂牙部件數量也增加，直到25°，所有部件頭端類型都無法啟動。
- **12-15度刻度似乎是一個分界線。**一般來說，大部分的部件在12度時狀況較佳，而在15度時狀況較差。

這份研究報告在1990年代後期提交給某一標準機構，之後設立委員會，寫了一份防範螺紋亂牙特性比較的測試標準和方法。從那時起，不曾有任何進展。直到最近，這個問題又再次崛起。《螺絲世界》刊載過一篇與防範螺紋亂牙特性有關的短文，敘述一家鉚釘螺帽和嵌件主要製造商在這方面所進行的工作。卡住的緊固件可能很容易把嵌件磨掉，尤其是安裝在鋁材和薄片金屬上。他們在緊固件上建置一個特殊的「防範螺紋亂牙」特性，努力修正這問題。

既然這個問題看來還具存活性，這些頭端樣式的缺點應該在這裡報告一下。首先，這些頭端樣式很多是專利特用，授權使用的執照費必然增加成本；質量增加，即使對於緊固件是少量，依然是額外重量；容納長度增加所需的額外空間（導桿頭端、修飾型或標準型）或非契合式螺紋（斜坡式）形成設計上不少的挑戰。

雖然螺紋亂牙看起來並不是持續普遍的問題，但卻是組裝製程變更時常發生的狀況。新的生產線、工具變更、操作人員的指派都可能影響這個問題。既然這狀況只發生在單一個組裝工作站，以上述的知識進行調查，簡單的改變就能解決；如果需要頭端樣式，請作明智的選擇。如果解決方案不易達成，那麼，許多的工廠還是會隨時隨地繼續使用AC尖頭頭端撥動來進行部件對準，或使用更大型的工具有來驅動，完全不在乎扭矩規格和夾緊力負荷。