

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

螺紋一般狀況

螺紋提供緊固件使之能作負荷之轉移。

有關螺紋之圖形及尺寸特徵超過 125 種。就一般而言，設計人員只需了解其中 30 種即可了解螺紋之種種功能。這些功能被討論於 A-27, 28, 29, 34 頁。

所謂螺紋 (Screw Thread) 即為在一柱狀物上突起之螺旋山狀物，外螺紋適用於螺栓，螺絲及螺樁，內螺紋適用於螺帽及攻牙孔。

螺紋之組成主要分為三部份：牙頂，牙底及牙側。螺紋頂端稱之為牙頂，螺紋底端稱為牙底，二者之間稱為牙側。三者組成一 V 字型之構造。若牙頂與牙底之直線距離為牙高 H，牙頂與牙頂之距離為螺距 P，則在 UN 螺紋方面 $H = 0.866025 \times P$ (假設狀況牙頂與牙底均為 V 字型尖銳端)。

螺紋同時具有牙頂及牙底之完整形狀時稱為完全螺紋，若牙底或牙頂未完全成型則稱為不完全螺紋。通常此現象發生在螺栓類的尾部具有形狀之牙形，半牙螺紋與螺絲柄部之交接處，螺帽及攻牙孔則發生在承受面之倒角端。

所謂螺距 P 即稱垂直於螺絲 (帽) 軸螺紋上之任一點與鄰近螺紋同點之水平距離，在 UN 螺紋系統中，通常以每寸幾牙表示。

在外螺紋系統中，牙頂之外徑稱為大徑，牙底之外徑稱為小徑。內螺紋類則正好相反，牙頂之內徑為小徑，牙底之外徑為大徑。

牙側與軸部所成之角度稱為牙側角 (Flank Angle)，軸部雙邊角度相等者稱為對稱螺紋，在 UN 螺紋系統中，牙側角通常為 30 度且對稱，故 UN 螺紋之角度均為 60 度。

所謂有效徑，理論上而言為垂直於軸而通過牙頂牙底某點之徑。對標準螺紋而言，此點正好位於中點。但對非標準螺紋而言，此點可能位於中點附近之任一點，視實際製造狀況而定。

通常，有效徑之認定是具爭議性的。但是有效徑對於設計，製造，工具及模具，量具與測量都是非常重要的。

基本螺紋配合亦相當重要，螺紋配合不當常造成鬆弛或過緊。

螺紋配合之裕度意味外螺紋及內螺紋均以其最大上限製造且結合時之寬裕度。對緊固件而言，裕度通常由外螺紋提供，這表示外螺紋之大徑，有效徑，小徑均需比基本牙型為小。

而內螺紋之小徑則等於基本牙型，公差之配合則視製造而定。公差即上限與下限之差。故對外螺紋而言，其公差為上限減去公差即為下限，內螺紋則正好相反。

緊固件結合時，外螺紋部之完整牙型之軸距為其有效螺紋長，旋進內螺紋之距離為其結合長度，有效螺紋長及結合長度對其螺紋結合強度有深切之影響。

螺距一般以每寸幾牙表示，常用有英制統一粗牙，細牙及 8-UN 牙三種。

螺紋強度 - 支撐轉移負荷之力量 - 決定於四個螺紋強度面積。抗拉強度面積為螺紋支撐抵抗拉力之面積計算面積。抗剪應力面積為計算徑剪斷力之面積計算面積。抗鬆應力面積為內螺紋及外螺紋結合互相鬆脫時之強度面積計算面積。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

螺紋選擇指引

螺紋選擇之三要素：牙型，牙數及等級。

螺紋型式

螺紋之型式至少數以打計。但 IFI 只承認三種型式：UN, UNR, UNJ。它們全為 60 度螺紋，不同之處僅在牙底處。

在 1948 年，美國，加拿大，英國共同決定使用一種共同統一之螺紋，英國廢止原用之惠氏螺紋，此即所謂英制統一螺紋之由來。

UN 螺紋

UN 牙型為最早之設計，外螺紋牙底為平底或圓底均可，依各國規範而作選擇。雖然公認圓底螺紋對抗應力集中有較好之效果，美國仍承認可使用平底螺紋，這是因為經濟上之考慮，使用生產圓底螺紋之工具將導致較高成本。且具爭議的是，工具在使用一段時間後，螺紋輪廓可能會產生變化。

UNR 螺紋

1950 年代，緊固件之適用範圍擴大，尤其是對疲勞應力之安全顧慮亦相形重要，因此無法避免的必需檢查疲勞負荷。但另一個解決的方法是更改牙底半徑，因而發展出 UNR 螺紋其與 UN 螺紋之不同點在於其牙底半徑限制在 0.108 到 0.144 倍螺距。

在第一次推廣期，客戶於下單需聲明使用 UNR 螺紋，但時至今日，不管有無聲明，1" 以下規格螺紋均需使用 UNR 螺紋。此因 1" 以下螺紋為滾製，而滾模之標準規格即為如此。1" 以上之無法滾製螺紋而需切製時，需 UNR 螺紋仍需聲明，否則應以 UN 螺紋為主。

UNK 螺紋

在推行 UNR 螺紋之後，緊接著又作修正，修正後螺紋稱為 UNK 螺紋。

UNK 螺紋與 UNR 螺紋幾乎完全相同，具有相同之公差配合及牙底半徑公差，其不同點就在於 UNK 螺紋強制必需檢查及保證牙底半徑必需符合公差限制，UNK 螺紋成為六角孔沉頭螺絲及六角孔固定螺絲之標準。

當 ANSI/ASME B1.3 於 1979 年發展出螺紋允收量測系統後，UNK 螺紋成為必需之螺紋。此因 UNR 螺紋量測系統 22 亦必需達成相同之目的。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

UNJ 螺紋

UNJ 螺紋為目前最適用之螺紋型式，因為其對疲勞應力之抵抗超過其它型式之螺紋。這個答案就是 UNJ 螺紋加大牙底半徑。其牙底半徑為 0.150 到 0.180 倍之螺距，又因牙底半徑之加大造成螺紋之牙底徑加大而超出 UN 及 UNR 系基本螺紋，故內螺紋亦需作適當修改以資配合。因而造成螺紋強度之改變(3A 及 3B)。UNJ 螺紋目前用於航太工業及其它高度特殊狀況。

螺紋配合

UN 內螺紋緊固件通常配合 UN 及 UNR 外螺紋。理論上而言，UN 內螺紋不能配合 UNJ 外螺紋，但仍行之有年，因而造成使用者常抱怨配合不良，尤以電腦工業為然，因此，本規範不贊成此項配合。

UNJ 內螺紋可配合 UN, UNR 及 UNJ 外螺紋，但配合 UN 及 UNR 螺紋時必須小心行之。

牙底半徑之一些觀念

UN 螺紋不強制必需有牙底半徑，其牙底可以是平的，UNR 之牙底半徑至少為 0.105 倍螺距，UNJ 之牙底半徑至少為 0.150 倍螺距，很難相信這小小之差別會有多重要，但它確實如此重要。

牙底半徑之加大會稍許增加螺紋靜態之抗拉強度，此為一個相當簡單之幾何原理，當牙底半徑增加時，牙底徑及抗拉強度面積亦會加大，故其抗拉強度亦增加。

牙底半徑主要功能為增加疲勞應力抵抗能力。對緊固件暴露於長期動態之產品壽命影響很大，其動態應力之計算應包括所有之搖動，震動，撞擊，沖壓等力量以至於應力之計算是如此困難，但尋求更耐耗磨之產品之努力卻不能停止，直至改良其牙底半徑後，此問題才告解決，牙底半徑越大，其抗疲勞度越佳。

牙部應力之計算通常是一件相當困難之事，其計算結果常常不準確。通常應力面積之計算乃是依照圖面作物理性之計算，但產品尺寸，螺距，材料，製造方式等都會影響其強度。

內螺紋之牙底通常並不真圓，幸運的是，內螺紋之設計強度通常大於外螺紋，請參考 B-26 頁之螺紋配合。

牙數

牙數與螺距及直徑有關，英制統一螺紋之螺距表示為每寸幾牙，英制統一螺紋共有 11 種規範，但其中較重要者有三：粗牙(Coarse UNC)，細牙(Fine UNF)及 8-UN 牙(8-UN)。UNC 螺紋為惠勒氏(Whitworth)於 19 世紀中葉發展而出，他選擇該系螺紋之理由為當時之

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

製造技術僅能提供類似之螺紋產品，但時至今日，隨著製造技術之改良及精進，已能製造出更精確之精製螺紋，於是又加進 UNF 細牙一種以滿足各項需求。而 8-UN 牙系統則不管其外徑為何，每寸之牙數均為 8 牙。

螺紋等級配合

螺紋配合意味著結合時內螺紋及外螺紋之鬆緊程度。英制統一螺紋外螺紋有 1A, 2A, 3A 三種，內螺紋亦有 1B, 2B, 3B 三種等級。這些級數使用來表示其配合程度，級數越高，配合之鬆緊度越緊。

另外尚有一種 5 級螺紋，其內螺紋及外螺紋無裕度，當外螺紋旋入內螺紋時，其相互咬緊而無空隙存在，請參考 ANSI/ASME B1.12 A-75 頁規定。

級數 1A 及 1B

級數 1A 及 1B 是一種配合起來很鬆之螺紋。適用於需快速裝卸之緊固件。1A 及 1B 僅適用於 1/4" 以上之粗牙及細牙緊固件。用於機械方面非常少，事實上，北美地區使用此級之緊固件比率還不到千分之一。

級數 2A 及 2B

級數 2A 及 2B 之螺紋是目前使用最廣之級數，幾乎 90% 以上之緊固件均使用本級數。對製造和經濟性而言，此為最適當之級數。

級數 3A 及 3B

級數 3A 及 3B 之螺紋適用於需配合度良好之場合如六角沉頭螺絲及六角沉頭固定螺絲。航空用螺栓螺帽及其它高強度或高安全顧慮之緊固件。

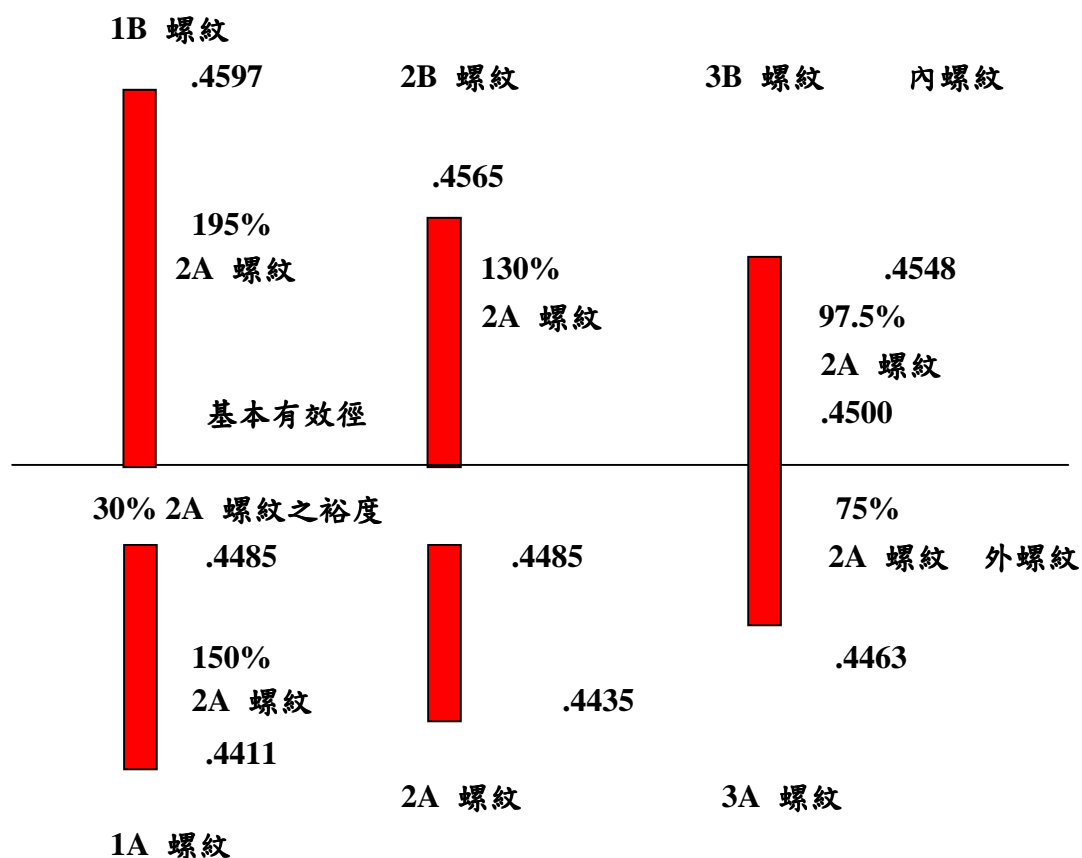
螺紋配合之觀念

螺紋之配合應注意公差應嚴而配合度應鬆。同時更好之品質可得到較佳之使用效率。在圖 1 上顯示出 1/2"-13 UNC 螺紋之各級數相關性。

強度

螺紋配合之強度決定於足夠的牙長結合深度及長度。螺紋之抗拉強度與級數無關。但級數越高，防鬆能力越好。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	



表面處理

相當多之緊固件作表面處理以防止銹蝕及增進表面光澤。表面處理將增加成品之厚度。表面處理之緊固件之適用性在稍後章節將花相當大的篇幅介紹。足夠讓我們了解到 2A 螺紋之表面處理之適用性，但 3A 螺紋因為沒有裕度，所以表面處理時必需特別小心以免造成無法組合。

高溫狀況

當緊固件長其暴露在高溫(通常在 500°F 以上)時，就必需加大裕度以避免磨損情形發生。

運送處理

大多數之緊固件在使用前均需運送處理，此因螺紋(外螺紋)很容易受損之故。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

展延性

低及中級強度之緊固件配上 2A 螺紋有相當好之展延性，此因其具有裕度及較大之公差範圍使得螺紋更具彈性。

高強度之緊固件具有低展延性，需配合較嚴格之螺紋。

震動

螺紋配合度越佳，因震動所導至螺紋鬆動之危險性越低，易言之，防鬆性視其螺紋配合性而言。

成本

螺紋配合度越佳，成本越高。

螺紋表面處理

表面處理將會增加厚度，如果超過限度，將會產生配合上之問題，因此在表面處理前必需採取適當之措施。

在北美州處理表面處理之原則如下：

除熱浸鋅類厚度大之處理層外，表面處理不能違反基本螺紋配合原則。

除非購買者之特殊要求，2A 螺紋可以適應表面處理。易言之，表面處理後之最大徑為基本尺寸，同樣之要求亦適用於 3A 螺紋。

如果在表面處理後仍需保留 2A 螺紋之特性限制時，則符號 2A 應以 2AG 代替。所謂 2AG 螺紋即與未表面處理之 2A 螺紋之特性要求一樣。

1A 螺紋不論其表面處理與否，規格限制均相同。

3A 螺紋及所有內螺紋均無裕度，這意味者 1A, 2AG, 3A 外螺紋之最大徑及 1B, 2B, 3B 內螺紋之最小徑在表面處理前必須調整以適應表面處理之厚度。

當表面處理厚度超過其裕度時，就必須調整其製造公差，不論是調整外螺紋或內螺紋之限制，此時外螺紋准許違反其基本螺紋限制。

在 60 度角之螺紋，牙側及有效徑之增加約為表面處理層厚度之 4 倍。表面處理厚度通常以最低限制表示，而不管其上限為何，所以一般而言，通常規定其有效徑變動為厚度之 6 倍。例如 2A 牙表面面處理厚度為 0.00015”，則配合以 0.0009”以上之尺寸變動以便容納增加之厚度。通常在如此處理之後，製造流程便不致以會發生問題。一個較詳細對於表面處理之處理狀況規定在 ANSI/ASME B1.1 A-48 頁。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

在檢驗表面處理後之尺寸允收狀況時，使用之量具與未表面處理之量具一樣，但 2A 螺紋則不相同，在表面處理後，GO 適用 3A 環規，NOGO 適用 2A 環規，另外還有一種狀況是大厚度之表面處理。

在大厚度之表面處理狀況下，美國最普遍之作法為加大內螺紋之孔徑而不是減少外螺紋之外徑，這是因為加大孔徑或減少外徑均會減低螺紋結合強度，而通常螺帽之強度是配合螺栓強度，因此可加大孔徑而非減少外徑以避免結合強度之損失。另外一個理由則純粹基於經濟上之考慮。

螺紋允收

螺紋具有兩種功能：結合及承受負荷。結合功能端視其尺寸特性，而負荷狀況則有賴於尺寸配合及材料級數，尺寸不良之產品常造成不能結合或結合不良，配合不當或材質錯誤則造成強度不足。

螺紋允收檢驗則在檢驗其尺寸特性是否合乎要求，經常我們使用量規（牙規及環規）或其它檢驗設備作檢驗。通常螺紋允收狀況由購買者決定，這是因為他最了解緊固件使用狀況及使用要求（包含尺寸，強度，緊固件工作環境，負荷及安全顧慮等等）。

為幫助決定如何檢驗，ANSI/ASME B1.3 A-53 頁規定有量具量測系統可供使用。B1.3 共有三種系統以供螺紋測試，分別為 21, 22, 23 三種，它們之間之分別為需求狀況之不同適用。系統編號越高，其所測量之需要特性越多。系統 21 係使用於低，中強度一般工程用途之外螺紋緊固件。系統 22 適用於高強度外螺紋緊固件，系統 23 適用於 UNJ 系統外螺紋緊固件。同時系統 21 適用於除了 UNJ 系統內螺紋緊固件之所有內螺紋緊固件，UNJ 系統內螺紋緊固件則適用系統 23，系統 22 幾乎不用於內螺紋緊固件。

這三種系統係為大部份常用緊固件而設計，如果客戶所需求為特殊要求，則適當的修正本系統是被允許的。

螺紋強度

組合螺紋有六種強度之失敗：

- 外螺紋之拉斷。
- 外螺紋之鬆脫。
- 內螺紋之鬆脫。
- 外螺紋縱軸之剪斷。
- 外螺紋扭斷。
- 內螺紋之扯裂。

拉斷，鬆脫，扯斷通常發生於使用階段，扭斷導因於結合過緊，剪斷只發生於負荷過大。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

緊固件強度計算

四個緊固件結合強度負荷面積為：

- 抗拉強度面積。
- 剪斷應力面積(最小徑抗剪面積)。
- 外螺紋抗鬆應力面積。
- 內螺紋抗鬆應力面積。

所有數據資料及計算公式請參考表 1。

螺栓破斷失敗模式

在選擇緊固件時，設計人員應避免失敗之產生 - 組合時結合過緊及工作負荷過大 - 導致至螺栓破斷或螺紋崩壞。有一個相當重要之觀念是：在結合緊固件之過程中，應該注意其降伏強度，如果螺栓在結合的過程中破斷，是顯而易見且容易矯正的，且必須馬上採取措施。另外，螺紋崩壞是一種另一型式之失敗，它通常是逐漸發生的，從螺紋結合處逐漸脫落，其發生之時間要好幾個小時以上，一開始是查覺不出的。

螺紋崩壞之防止

防止緊固件螺紋崩壞之關鍵在提供足夠之緊固件結合長度，將螺帽之膨漲率減至最低，並選擇適當之強度級數以防止螺紋損壞。

螺紋結合長度

防止螺紋於配合時崩壞之最明顯之作法乃是加大結合長度。但會增加成本。

當螺栓及螺帽結合而承受垂直之負荷時，螺栓承受拉力，螺帽則承受壓縮力，如果螺絲及螺栓之材料一樣，且均為標準牙型，則其各部承受力均相等。

螺栓承受垂直負荷時，將對螺紋產生拉伸作用而有拉長效果，同樣的，螺帽因壓縮作用螺紋將有縮短效果。這些變形將於螺栓及螺帽二者繼續進行到二者全部螺紋密接。其結果造成全部負荷不均勻地分配在螺紋上，造成接合之第一牙所承受的負荷超過平均負荷，而最後結合之末端螺紋承受負荷卻比較小，實驗證實第一結合牙其承受之負荷可以超過平均負荷之 2 倍，而末端所承受之負荷小於平均負荷之 1/2，這就是為何螺栓之破斷通常位於螺栓與螺帽或螺孔結合之第一牙，同樣之研究更指出在同一結合長下，螺距愈小，第一牙所承受之負荷就愈大。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

如將結合長加長到螺栓徑之一倍以上亦不可行，這是因為額外之結合螺紋僅可承受少部份之負荷且第一牙需足夠粗大到可以將負荷成功地分配到其它螺紋，就此觀點而言，十分可能失敗。

螺帽膨漲

當垂直負荷增加時，螺栓伸長，螺帽則因壓縮而由牆向外擠壓而膨漲，這是因為牙部角度及負荷之故，當螺帽強度越低，或牆越薄，膨漲就越厲害。

螺帽膨漲之控制相當重要，因為膨漲導致結合長縮短，抗剪應力面積減少，單位剪斷應力增加，將造成不利之影響，而螺距越細，影響就越嚴重。

螺帽之對邊為其公稱徑之 1.5 倍以上時相當理想，但如小於 1.5 倍時就必需小心，凸緣螺帽之抗膨漲相當不錯，至於攻牙孔，一般而言不必考慮膨漲。

緊固件材料強度

如果螺栓及螺帽之強度相當時，則因為垂直負荷而導致螺紋斷裂時，則無法確定是內螺紋或外螺紋先被破壞。

如果螺栓之材料強度大於螺帽 - 大多數螺栓螺帽之配合狀況 - 則螺栓之螺紋裝配時不易變形，即使是螺帽之降伏強度更低之狀況下亦然，在此情形下，在螺紋破壞時，外螺紋將先將內螺紋破壞。

同樣的，如果螺帽之材料強度大於螺栓，則在破壞情形下，螺栓之螺紋將先被螺帽之螺紋所破壞。

一般而言，螺栓及螺帽之材料強度越接近，則破壞之強度越低，如果強度不一樣，則破壞強度會高一點，這就是為何測試螺帽所使用之治具及螺栓需均硬化之原因。

根據表 1 各應力表，我們可以很輕易的算出螺栓及螺帽結合所需要的結合長和最低的強度級數，緊固件之選擇必需先確定負荷以確知螺紋的確可以支持剪應力負荷(螺紋剪應力面積乘螺紋結合長乘材料剪斷強度)及拉伸應力負荷(抗拉應力面積乘材料抗拉強度)。

螺紋暴露於結合件長中之影響

材料被緊固件所結合之總厚度稱為結合件長(Grip)。在緊固件組合後，螺栓之螺紋負荷長度通常等於結合件長加上可能在螺帽內之一至二牙，在結合件長中之螺栓螺紋數將嚴重影響到緊固件之最終抗拉強度 - 導至負荷失敗。

螺栓螺帽結合抗拉失敗之狀況，如果螺帽之位置位於螺栓之任一點但自螺帽之承受面(Bearing Surface)至螺栓螺紋末端至少有四個完全螺紋時，螺栓之拉力保持不變，但當螺帽越接近螺栓螺紋末端時，螺栓之拉力會增加，甚至會比原來拉力多增加 20%。

聯信標準	螺紋設計基本要素	版次	1988
螺紋文件類		類號	IFI 6
Q-Lab		規範	

當螺栓暴露於結合件長之螺紋拉力增加時，螺栓及螺帽之抗剪力會降低，這是因為螺栓拉 - 緊固件結合失敗之前奏 - 會在與螺帽結合之螺紋中發生。緊固件結合長度減少，剪應力增加。想像得到的是可以避免螺栓破斷或螺紋扯裂，只要減少外螺紋暴露於結合件長中之螺紋數即可。