

# 鋁合金拉釘發展與應用

文／劉文海

**飛**機不開敞部位使用的扣件主要有兩種結構形式，即可拆卸部位如口蓋、艙門部位使用的托板螺帽/螺栓和快卸扣件，以及永久連接部位所大量採用的拉釘。拉釘又稱盲釘、開口盲釘，拉釘可用於一般需栓接或鉚接的部件，由於拉釘所產生的高緊固力、耐震動、高抗剪力及操作簡便等性能，拉釘也經常被用來取代銲接。拉釘施工時需要事前開孔，並使用液壓或氣壓專用設備將部件進行緊固，每根拉釘在組裝完成後具有相同的緊固力及永不鬆動等特性。

## “鋁合金拉釘種類與特性”

拉釘有四種主要的類型(圖1)：化學延展、鎖固銷、抽芯及螺紋。在這些當中最常使用且最方便的是空心拉釘(pop為廠牌名)，是由釘套及內部芯軸(銷)所組成(圖2)。當使用適當工具將芯軸拉入釘套時，芯軸造成暴露的釘套尾端膨脹，隨後使芯軸脫離，讓芯軸頭(或頭+部分的芯軸)鎖入尾部(或尾部+釘套)。螺紋拉釘有三種主要的類型：間隙型、干涉型和主承力結構型，其中干涉單面螺紋拉釘可提高密封及抗疲勞等性能，高強拉釘系統則可用於主承力結構。

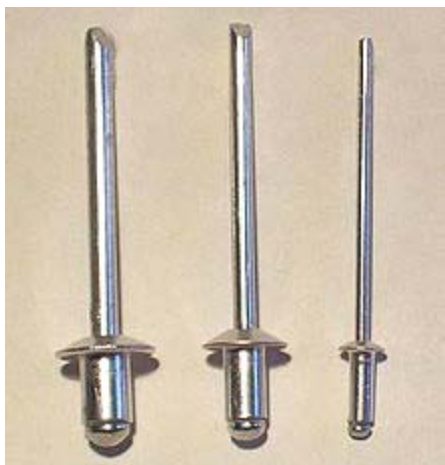


圖2 鋁合金空心拉釘外觀：1/8"，3/32"，1/16"  
資料來源：<https://en.wikipedia.org>

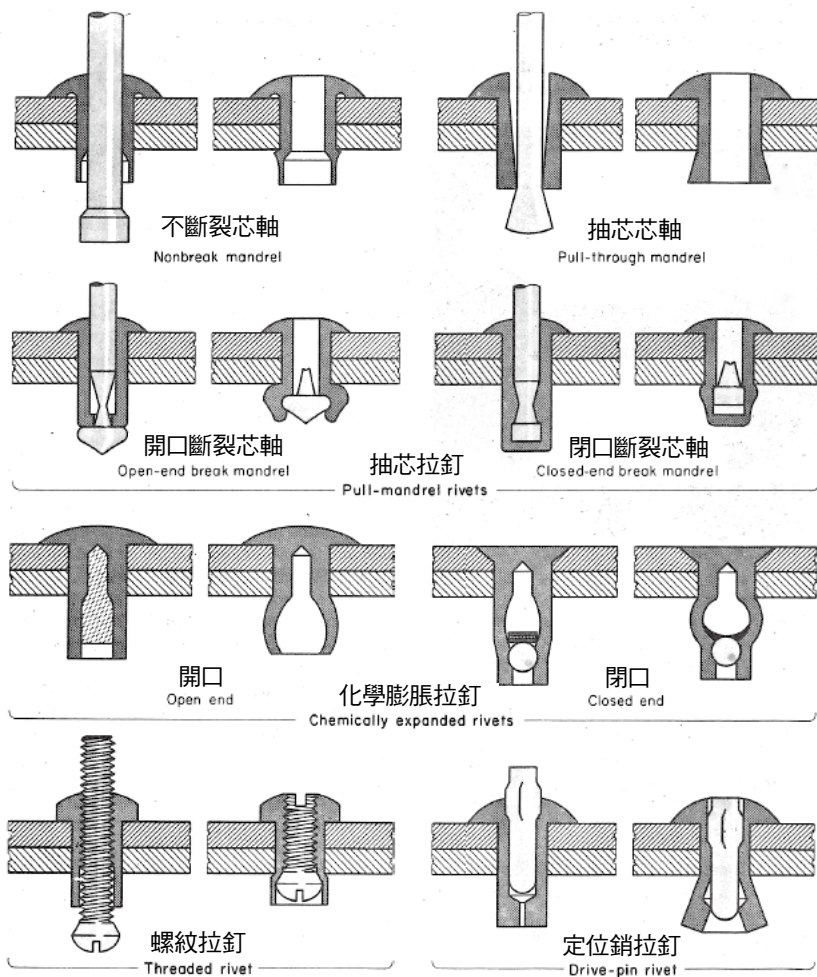


圖1 拉釘主要的類型

資料來源：Metals Handbook，Ninth Edition，American Society for Metals，1986，P.546

一個具有從鉚釘釘套擴大的突出角度的小區域(凹槽表面的突起部分)。無論板材厚度如何，自塞式拉釘的施加負載與相同剪切強度的實心桿部鉚釘的負載相當。5056-H14釘套及2024-T36釘桿(芯軸)的組合材料剪強度超過38,000 psi，其抗拉強度超過28,000 psi。在這些鉚釘中銷之固持特性非常優異，透過在鉚釘頭部形成的鎖定使得銷鬆脫的可能性降到最低。

## 自塞式拉釘

### 1. 自塞機械鎖定拉釘

自塞式拉釘釘套是由5056-H14鋁合金製成，在拉釘頭部包含錐形凹部及鎖定環(圖3)，釘桿是由2024-T36鋁合金製成。與鉚釘槍夾爪相配合的拉槽位於突出於鉚釘頭部上方的釘桿末端上，釘桿的盲端部分包含一個頭部及



圖3 自塞式拉釘(機械鎖定)

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」，Navy BMR



## 2. 自塞摩擦鎖定拉釘

自塞摩擦鎖定拉釘有通用型及平頭型，是以2117及5056鋁合金及Monel合金製成的，但無法替代實心鉚釘，也不能用於要求嚴苛之應用，例如控制表面絞鏈支架、機翼連接配件、起落架配件及液體高密封連接處，圖4顯示自塞摩擦鎖定式拉釘。

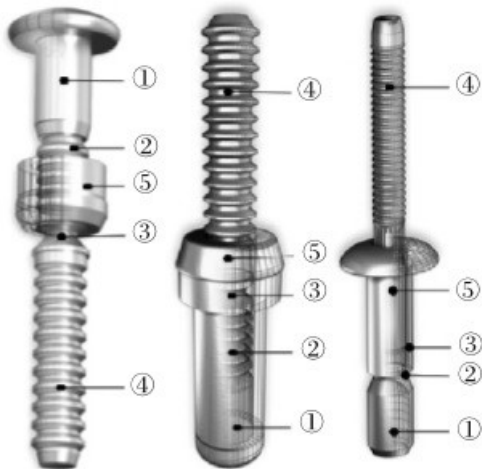


圖4 自塞摩擦鎖定拉釘

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」，Navy BMR

## Huck拉釘

1950年代，Louis C. Huck利用胡克定律發明了第1代的結構用高強度拉釘，最早應用於飛機製造業，後在鐵路車輛、重型汽車、建築領域得到廣泛的應用。Huck拉釘包括釘桿和釘套2個部件，釘桿又包括釘頭、鎖緊槽、斷頸槽、尾段(槍爪槽)4個部位，如圖5所示。與傳統螺絲利用扭力旋轉產生緊固力不同，採用特有的環槽鎖緊、環槽斷裂技術，在外界拉力下，拉伸釘桿擠壓釘套產生塑性變形，靠變形部位夾緊基材實現可靠的緊密連接。此結構具有高夾緊力和高抗剪力性能，從根本上解決了普通扣件在振動情況下鬆動的問題。同時具有更高的精度、更高的生產效率、優異的抗振及抗疲勞性。在國外許多需要螺絲連接或銲接的建築、汽車、鐵路、船舶、航太結構上都使用了大量的Huck拉釘，以降低螺絲連接或銲接的應用比重。



①釘頭 ②鎖緊槽 ③斷頸槽 ④尾段 ⑤釘套

圖5 Huck拉釘結構 資料來源：客車技術與研究，No.5. 2018

## 1. Huck抽芯鉚釘

Huck抽芯鉚釘屬於單面盲鉚釘，鉚接原理是在單向拉力的作用下釘桿拉伸向上，使釘桿尾端較粗部分進入釘套中，將釘套逐漸擠壓增粗並填滿釘孔，結構件被壓緊後釘桿上的環形凹槽推入釘套的環形凸台內鎖止，達到設計夾緊力後，釘桿斷頸槽拉斷完成鉚接，如圖6所示。抽芯鉚釘成本低，操作方便，但機械性能較差，其抗剪力和抗拉力分別為防鬆螺絲的0.8倍和0.7倍，鉚接厚度範圍小(1.5~16mm)。

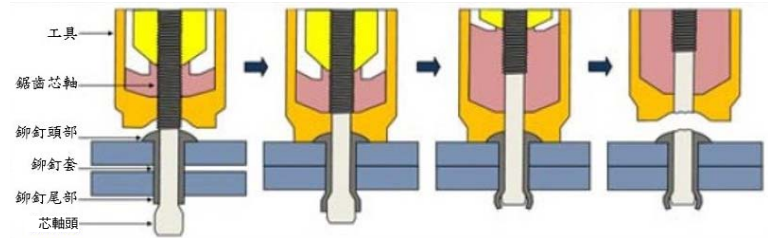


圖6 Huck抽芯鉚釘鉚接原理

資料來源：Annals of Materials Science & Engineering, Volume 1 Issue 3-2014

最成功的航太鉚釘可能是由美鋁扣件系統公司製造的全鋁合金抽芯鉚釘，很明顯地，使用這些全鋁鉚釘具有優勢，其中鋁合金5056用於釘套，鋁合金7075用於釘桿芯軸，兩者都有塗覆鉻酸鋅。在接合鋁板的狀況下，在釘套及工件介面處，鋁合金的化學相似性讓化學成分差異及電動勢(EMF)差降到最低。

## 2. HuckBOM鉚釘

同屬於單面盲鉚釘，不但具有防鬆螺絲永不鬆動的結構特點，同時具有抽芯鉚釘單面施工的優勢。在單向拉力的作用下，拉伸釘桿並推擠釘套，使釘套尾端變形形成墩頭，結構件被壓緊後，將內部光滑的釘套擠壓到釘桿凹槽，使釘套和釘桿形成100%的緊密配合，達到設計夾緊力後，釘桿斷頸槽拉斷完成鉚接，如圖7所示。美鋁扣件系統公司開發之HuckBOM鉚釘號稱是全球最強之盲鉚釘，抗剪力和抗拉力分別為防鬆螺絲的1.6倍和1.3倍，可在作業空間狹窄的結構中取代防鬆螺絲的應用，但採購成本過高，是防鬆螺絲的3倍。

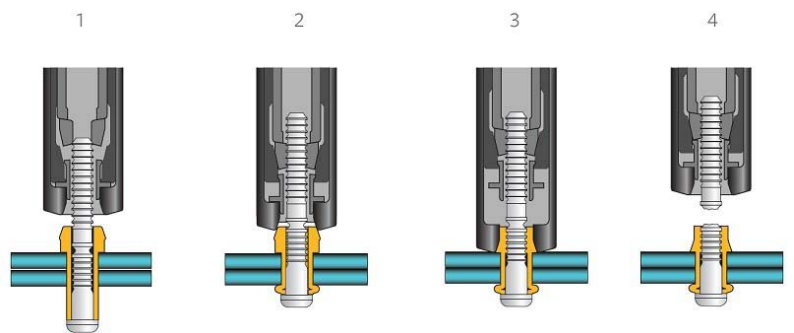


圖7 HuckBOM鉚釘鉚接原理

資料來源：<https://www.afshuck.net>

## “ 鋁合金特殊鉚釘種類與特性 ”

### Hi-Shear® 鉚釘

高剪切鉚釘本質上是無螺紋的螺絲，其結構見圖8，銷的一端有頭部，另一端則在圓周有凹槽，金屬套環型鑄於凹槽端上。有兩種頭部





類型一扁平突出頭部及100°沉頭。高剪切鉚釘由多種材料製成，並且只應用於受剪力場合。因為鉚釘的剪切強度大於鋁板片的剪切強度及承載強度，它們主要用於鉚接厚板材，而不會被使用於鉚接夾持厚度小於桿部直徑的場合。Hi-Shear®高剪切鉚釘使用類似於實心鉚釘的代碼編號標識，鉚釘的尺寸是直徑以1/32英寸的增量為計量單位、夾持厚度以1/16英寸的增量為計量單位來測量。例如：NAS1055-5-7鉚釘是具備埋頭的Hi-Shear®高剪切鉚釘，其直徑是5/32英寸，其最大夾持厚度是7/16英寸。套環是透過基本代碼編號及對應於鉚釘直徑的破折號數字來標識，在破折號數字前的A代表鋁合金套環，NAS528-A5套環會使用在直徑5/32英寸的鉚釘銷上。涉及安裝或更換Hi-Shear®高剪切鉚釘的維修程序，一般會指定要使用的套環。



圖8 高剪切鉚釘結構

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」, Navy BMR

## 螺紋鉚釘

螺紋鉚釘是由6063鋁合金製成的中空鉚釘，在內側有柱形沉孔及螺紋，它採用兩種頭形(平頭及埋頭)及兩種桿部設計(開孔型及閉孔型)，參見圖9。每種鉚釘都有三個尺寸：6-32、8-32及10-32，這些數字代表與螺紋鉚釘配合的螺絲的標稱直徑及每英寸的實際螺紋數。開孔型螺紋鉚釘較為使用，是受到推薦及偏好的類型。然而，在密封漂浮或加壓室中，必須使用閉孔型螺紋鉚釘。

## Hi-Lok® 扣件

高鎖扣件是一種用於飛機結構雙面安裝單面施鉚的扣件系統，由於其具有多種優點，在飛機上被大量採用，具有100°沉頭、平頭兩種頭型；抗剪型和抗拉型兩種受力狀態；普通高鎖螺栓、抗疲勞高鎖螺栓和輕型高鎖螺栓三種結構形式，配套螺帽包括普通高鎖螺帽、自對準高鎖螺帽和密封高鎖螺帽等。

高鎖扣件結合了鉚釘及螺栓的特徵，如圖10所示，用於主要結構的高強度、無干涉配裝。Hi-Lok®扣件由螺紋銷及螺紋套環組成，銷是由鍍鎳合金鋼所製成，具有突出或100°平頭，銷的套環由陽極氧化2024-T6鋁合金或不鏽鋼製成。銷的螺紋末端可與六角承座嚙合，而得以從一側安裝。銷螺紋部分的主要直徑已被截切(切得比規格小)以符合0.004英寸最大無干涉配裝。套環的一端為內部錐形凹進1/16英寸的內建變化結構，可自動匹配不同的材料厚度，無需使用墊片，也無需改變扣件預負載。套環的另一端有易折旋緊 (torque-off wrenching) 裝置，控制扣件中預負載(10%)的預定殘留張應力。

## Jo-螺栓扣件

Jo-螺栓®是高強度、結構用盲扣件，當不可能接近工件的一側時，用於困難的鉚接工作。Jo-Bolt®由三個工廠組裝的部件所組成：一個鋁合金或合金鋼螺帽、一個螺紋合金鋼螺栓及一個耐腐蝕鋁襯套。Jo-螺栓的頭部形狀有100°平頭、六角突出頭及100°可銑平頭，如圖11所示。

## 防鬆螺栓

防鬆螺栓又稱鎖緊螺栓，可分為圖12所示之3種類型，皆由一個釘套和一個釘桿兩個獨立部件組成，屬於雙面盲拉鉚釘。防鬆螺栓經由拉鉚釘專用設備，在單向拉力作用下，拉伸釘桿並推擠釘套，結構件被壓緊後，將內部光滑的釘套擠壓到釘桿凹槽使釘套和釘桿形



圖9 螺紋鉚釘外觀

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」, Navy BMR

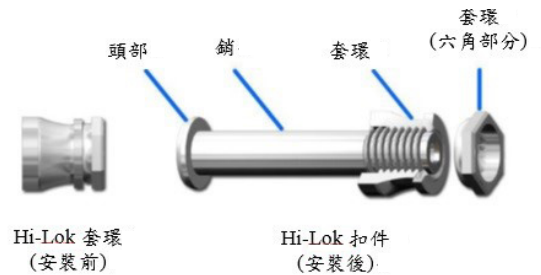


圖10 高鎖扣件結構

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」, Navy BMR

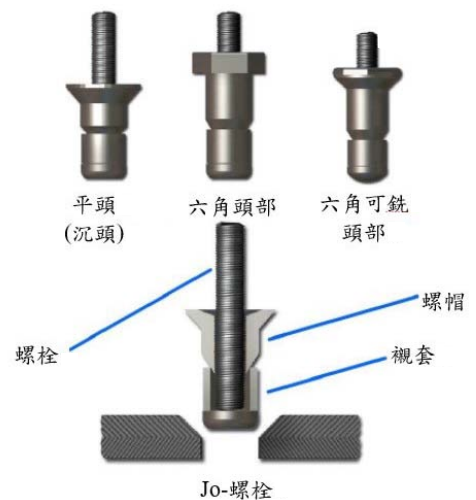


圖11 Jo-螺栓®結構

資料來源：「Chapter 6.AIRCRAFT HARDWARE」, Navy BMR



圖12 鎖緊螺栓的類型

資料來源：<https://www.flight-mechanic.com>

成100%的配合(見圖13)，達到設計夾緊力後，釘桿斷頸槽拉斷完成鉚接(如圖14)，其銷之固持原理類似自塞機械鎖定拉釘。防鬆螺栓之抗剪強度和抗拉強度等於或超過AN和NAS螺栓的要求，其鉚接範圍大(鉚接厚度3.5~30mm)，但在作業空間狹窄的結構中，操作不如單面盲拉鉚釘方便。

## “ 鋁合金拉釘破損原因 ”

在使用環境中關於鋁合金拉釘破損的兩個主要考量因素為：

### 腐蝕

由於釘桿芯軸是由鋁合金、低碳鋼、不鏽鋼、銅及Monel合金(63Ni31Cu)製成的，而釘套通常採用鋁合金，兩者發生電位腐蝕的可能性相當明顯。因此，在暴露於靠近海洋環境中的機械和結構應用中，兩個常見的問題是接合處釘套/工件腐蝕和在鉚釘中芯軸釘桿腐蝕。

### 機械特性

週期性風負載、反復熱膨脹/收縮和連續靜態負載產生的應力可能很大，因為通常用於釘套(必須承載負載的大部分)的不同時態鋁合金的機械強度相對較低，如表1所示。

表1. 拉釘釘套常用鋁合金的機械性質

鋁合金	時態	抗拉強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	剪切強度 (MPa)	疲勞強度 (MPa)
5050	O	145	55	105	83
	H32	170	145	115	90
	H38	220	200	138	97
5052	O	195	90	125	110
	H32	230	195	140	115
	H38	290	255	165	140
5056	O	290	152	179	138
	H18	434	407	234	152
	H38	414	345	221	152

資料來源：Annals of Materials Science & Engineering, Volume 1 Issue 3 - 2014

最後，要注意的是Huck Magna-Lok®拉釘已經在澳洲應用於安裝在距離太平洋約2公里的高層建築物屋頂上的鋁百葉窗系統的主要結構整修上。百葉窗系統故障的主因在於使用鋼鉚釘所引起的電位差腐蝕，鋼鉚釘用於接合分別由鋁合金6063 (T6)及6060 (T5)製成的百葉窗窗櫺及型材。以鋁合金6351 (T6)及6063 (T6)的窗櫺及型材替換原來的百葉窗系統。這些鋁合金的機械特性及其時態在表2中進行對比。原系統在安裝後一年內就故障，在使用全鋁拉釘進行整修後將近十年都沒有腐蝕。

表2. 用於百葉窗系統鋁合金的機械性質

鋁合金	時態	抗拉強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	剪切強度 (MPa)	疲勞強度 (MPa)
6060	T5	220	185	140	90
6063	T6	241	214	152	69
6351	T6	310	283	200	90

資料來源：Annals of Materials Science & Engineering, Volume 1 Issue 3 - 2014

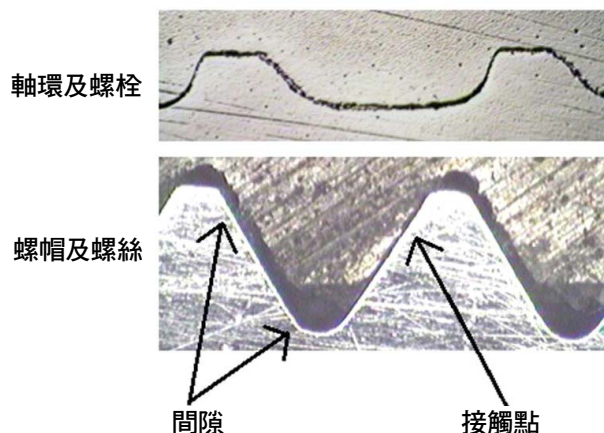


圖13 防鬆螺絲與傳統螺絲/螺帽鎖緊斷面比較  
資料來源：https://www.fastfixtechnology.com

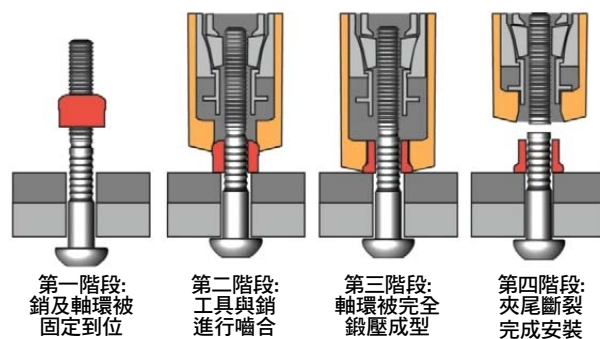


圖14 防鬆螺絲鉚接原理  
資料來源：https://www.fastfixtechnology.com

## “ 結語 ”

拉釘是中空的，因此一般強度比實心鉚釘弱。若要保持接頭強度，則需要改用強度更高的材料，或更大直徑的鉚釘。若採用鋼製芯軸會比實心鋁鉚釘重20-50%，且鋼/鋁接觸易生電位腐蝕。目前，在鋁合金鉚接技術人才匱乏、鉚接變形量大、生產裝備成本投入過高的背景下，鉚接技術操作簡單、高效、不用消除內應力，且為一種高夾緊力、高抗剪切力、永不鬆動的連接工法(如Huck拉釘)，將可部分取代鉚接，未來必然在車輛、建築、船舶等產業得到廣泛應用。■

### 參考資料

1. Metals Handbook, Ninth Edition, American Society for Metals, 1986
2. 「Aerospace Fastener Applications」, An Aerospace Manufacturing Perspective, Aerospace Mfg Education, Feb 25, 2013
3. 「Chapter 6. AIRCRAFT HARDWARE」, Navy BMR
4. 「Use of Aerospace Fasteners in Mechanical and Structural Applications」, Annals of Materials Science & Engineering, Volume 1 Issue 3-2014
5. https://www.afshuck.net
6. https://www.accordmarket.com
7. https://en.wikipedia.org
8. https://www.navybmr.com
9. https://www.researchgate.net
10. https://www.hindawi.com

